

Aus dem Institut für Anatomie und Zellbiologie
(Direktor Univ.- Prof. Dr. Karlhans Endlich)
der Universitätsmedizin der Ernst-Moritz-Arndt-Universität Greifswald

Thema: Vergleichend-anatomische Untersuchungen zur Beziehung der
Molarenwurzeln des Oberkiefers zum Boden des Sinus maxillaris der Pongiden.
Eine biometrische Studie auf der Grundlage der digitalen Volumentomographie.

Inaugural - Dissertation

zur

Erlangung des akademischen

Grades

Doktor der Zahnmedizin
(Dr. med. dent.)

der

Universitätsmedizin

der

Ernst-Moritz-Arndt-Universität

Greifswald

2018

vorgelegt von:
Julia Rosigkeit

Dekan:	Prof. Dr. rer. nat. Max P. Baur
1. Gutachter:	Prof. Dr. Th. Koppe
2. Gutachter:	Prof. Dr. W. Götz
Ort, Raum:	Greifswald, Hörsaal Neue Zahnklinik
Tag der Disputation:	28.08.2018

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung und Fragestellung	1
2. Literaturübersicht	3
2.1. Taxonomie der Pongiden	3
2.1.1. Orang-Utan (<i>Pongo pygmaeus</i>)	4
2.1.2. Gorilla (<i>Gorilla gorilla</i>)	5
2.1.3. Schimpanse (<i>Pan troglodytes</i>)	6
2.2. Schädelmorphologie der Pongiden	8
2.3. Zähne der Pongiden	11
2.3.1. Zahnformel	11
2.3.2. Grundlagen zur Zahnentwicklung	13
2.3.3. Zahndurchbruch beim Orang-Utan	20
2.3.4. Zahnwurzeln	23
2.4. Sinus maxillaris	24
2.5. Diagnostische Möglichkeiten zur Untersuchung der Zahnwurzeln	26
3. Material und Methoden	28
3.1. Material	28
3.2. Methoden	31
3.2.1. Metrische Untersuchung der Schädel	31
3.2.2. Untersuchungen mit der Digitalen Volumentomographie	33
3.2.3. Statistische Auswertung	37
4. Ergebnisse	38
4.1. Äußere Schädelmaße	38
4.2. Entwicklung der permanenten Zahnkeime beim Orang-Utan	41
4.3. Knochendicke des Bodens des Sinus maxillaris im Bereich der Molarenwurzeln	47
4.4. Wurzellänge der Molaren des Oberkiefers	50
4.5. Beziehung der Zahnwurzeln der Molaren des Oberkiefers zum Sinus maxillaris	54
4.6. Korrelationsanalyse	58
5. Diskussion	68
5.1. Entwicklungsstand der Zahnkeime beim juvenilen Orang-Utan	68
5.2. Knochendicke des Bodens des Sinus maxillaris im Bereich der Molarenwurzeln	75
5.3. Wurzellänge der Molaren des Oberkiefers	77
5.4. Projektion von Wurzelspitzen in den Sinus maxillaris	82

6. Schlussfolgerungen	84
7. Zusammenfassung	86
8. Literaturverzeichnis	91
9. Anhang	

1. Einleitung und Fragestellung

Angesichts der Fortschritte in der zahnärztlichen Implantologie kommt der genauen Kenntnis der Beziehungen zwischen den Zahnwurzeln der Oberkieferzähne und dem Boden des Sinus maxillaris eine immer größere Bedeutung zu. Diese Beziehungen sind auch für andere Fachgebiete wie Endodontologie und Kiefergesichtschirurgie von großer Bedeutung, da das Risiko besteht den Sinus maxillaris während der Behandlung zu eröffnen. Darüber hinaus ist die genaue Kenntnis dieser Zusammenhänge auch aus forensischer Sicht und evolutionsbiologischer Sicht von großem Interesse.

Über die Beziehungen der Zahnwurzeln des Oberkiefers zum Sinus maxillaris beim Menschen existieren zahlreiche klinische Untersuchungen. So wurde bereits wiederholt der Abstand zwischen den Wurzeln der Oberkieferseitenzähne und dem Boden des Sinus maxillaris sowie den angrenzenden seitlichen Knochenoberflächen mittels Computertomographie vermessen (Eberhardt et al., 1992; Kwak, 2004). Dabei konnte u.a. gezeigt werden, dass die mesiobukale Wurzelspitze der zweiten Molaren in der Regel die kleinste und die bukkale Wurzelspitze der ersten Prämolaren die größte Distanz zum Kieferhöhlenboden aufweist. Die Vermessung der Wurzelrelation zum Sinus maxillaris ist jedoch mit Unsicherheiten behaftet. Sharan and Madjar (2006) berichten, dass nur 39% der in den Sinus maxillaris projizierenden Zahnwurzeln aus dem Orthopantomogramm eine Entsprechung im jeweiligen Computertomogramm aufweisen.

Die Bestimmung der Zahnwurzellängen rezenter Primaten war bereits Bestandteil mehrerer wissenschaftlicher Untersuchungen (Kupczik and Dean, 2008; Nambiar et al., 2013). Eine vergleichbare Untersuchung über die Beziehung der Zahnwurzeln des Oberkiefers zum Sinus maxillaris wie sie Eberhardt et al. (1992) und Kwak (2004) für den Menschen durchgeführt haben, existiert jedoch bei den rezenten Primaten nicht.

Abgesehen davon, dass die Grundform der Zähne zu einem hohen Grad genetisch determiniert ist, sind Zahnform und Zahngröße auch Ausdruck bestimmter funktioneller Adaptationen (Swindler, 1998). Von besonderem Interesse für den

Vergleich fossiler und rezenter Primaten einschließlich des Menschen ist die Tatsache, dass sich ihre Form nur vergleichsweise langsam in der Evolution verändert. Daher weisen Zähne verwandter Arten bestimmte Gemeinsamkeiten in ihrer Morphologie auf, was für vergleichend-anatomische Studien von besonderer Bedeutung ist. Anemone et al. (1996) heben hervor, dass die Kenntnis der dentalen Entwicklungsmuster heute lebender Menschen und Menschenaffen zur Aufdeckung biologischer Verhaltensmuster fossiler Hominiden beitragen kann. Eine Durchsicht der Literatur zeigt jedoch, dass die überwiegende Zahl der Studien sich mit der Kronenmorphologie der Primaten auseinandersetzt (z.B. Swindler, 2002). Untersuchungen über Zahnwurzeln und ihre Beziehungen zu angrenzenden Strukturen wie dem Sinus maxillaris finden sich nur vereinzelt (Koppe and Rae, 2001).

Im Einzelnen verfolgt die vorliegende Arbeit deshalb folgende Zielstellungen:

1. Untersuchung der Größe der Zahnkeime und ihrer Beziehung zur Schädelgröße beim juvenilen Orang-Utan.
2. Bestimmung der Knochendicke zwischen dem Sinus maxillaris und den Wurzelspitzen der Oberkieferseitenzähne bei *Pongo pygmaeus*, *Gorilla gorilla* und *Pan troglodytes*.
3. Prüfung der Zusammenhänge zwischen ausgewählten Schädelmaßen und der Knochendicke zwischen dem Sinus maxillaris und den Zahnwurzelspitzen der Oberkieferseitenzähne.
4. Bestimmung der Zahnwurzellängen der Oberkieferseitenzähne bei *Pongo pygmaeus*, *Gorilla gorilla* und *Pan troglodytes*.
5. Diskussion der Bedeutung der Untersuchungsergebnisse.

2. Literaturübersicht

2.1. Taxonomie der Pongiden

Die Einteilung der Überfamilie der Hominoidea (Mensch und Menschenaffen) erfolgt in zwei Familien: die Kleinen Menschenaffen (Hylobatidae) zu denen die Gibbons und Siamangs zählen und die Großen Menschenaffen beziehungsweise Menschenartige (Hominidae) (Ankel, 1970). Allen Hominoiden ist gemein, dass die vorderen Extremitäten länger als die hinteren sind und der Schwanz fehlt (Fleagle, 1999).

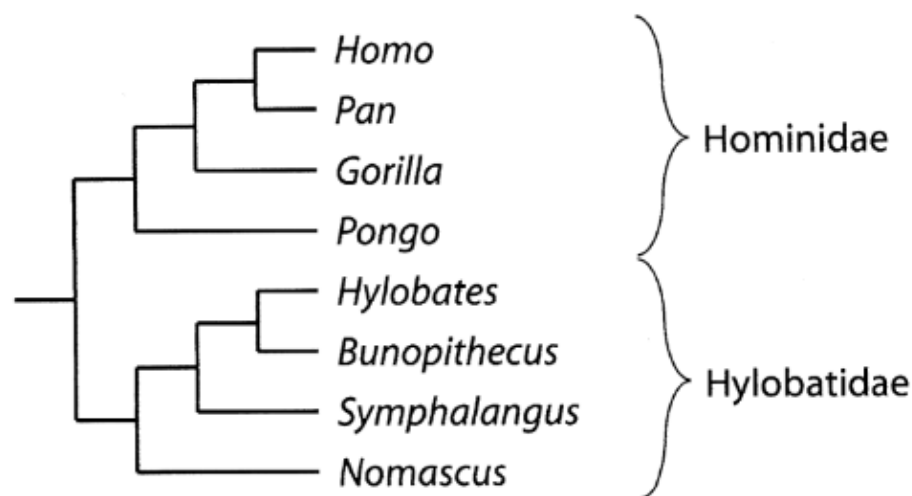


Abb. 1: Stammbaum der Hominoidea (Menschenaffen und Menschen) aus Geissmann, 2003. Mit freundlicher Genehmigung von T. Geissmann.

Die Familie der Hominidae beinhaltet die verwandten Gattungen *Pongo*, *Pan*, *Gorilla* und *Homo*. Die asiatische Gattung *Pongo* und die afrikanischen Gattungen *Pan* und *Gorilla* werden häufig in der Familie der Pongidae zusammengefasst (Ankel, 1970).

Im Vergleich zum Menschen gibt es nur wenige Studien zu den Großen Menschenaffen. Von diesen Studien befassen sich die meisten mit dem Schimpansen. Dieser unterscheidet sich genetisch nur zu 1,6% vom Menschen (Fouts, 1998) und ist daher von besonderem wissenschaftlichem Interesse. Somit besteht noch ein großer Untersuchungsbedarf beim Orang-Utan und Gorilla. So war beispielsweise die notwendig gewordene Zahnbehandlung eines Orang-Utans der Auslöser einer Studie von Nambiar et al. (2013), weil bis dato keine

wissenschaftlichen Arbeiten über die Wurzelkanalmorphologie dieser Spezies existierte. Beynon et al. (1991a) weisen ebenfalls auf den Bedarf von mehr quantitativen Daten über Kronenhöhe und Wurzellänge bei ausgewachsenen Menschenaffen hin.

2.1.1. Orang-Utan (*Pongo pygmaeus*)

Traditionell werden Orang-Utans in zwei Unterarten eingeteilt wobei eine auf Borneo und die andere auf Sumatra beheimatet ist (Geissmann, 2003). Dort sind sie nur in begrenzten Gebieten des tropischen Regenwaldes zu finden (Ankel, 1970). Neueren Untersuchungen zufolge handelt es sich aufgrund der chromosomalen Unterschiede um zwei eigenständige Arten (Morris und Parker, 2010).



Abb. 2: Fotografie eines (a) Sumatra-Orang-Utans (© Dirk Röttgen / PIXELIO) (b) Borneo-Orang-Utans (© dieter haugk / PIXELIO).

Charakteristisch für den Schädel der sumatranischen Art *Pongo abelii* sind konvex gewölbte Wangen, eine länglich-ovale Gesichtsform sowie das Fehlen der Fossa suborbitalis (Röhrer-Ertl, 1996). Im Vergleich zum Borneo-Orang-Utan ist der Schädel höher und die Wangenwülste sowie der Kehlsack sind kleiner (Morris und

Parker, 2010). Des Weiteren ist das Fell etwas spärlicher und generell etwas heller.

Die borneanische Art *Pongo pygmaeus* hat im Gegensatz zu *Pongo abelii* konkav eingezogene Wangen, eine quadratische Gesichtsform und eine Fossa suborbitalis (Röhrer-Ertl, 1996). Auffällig sind die großen Fettwülste seitlich des Gesichtes bei den adulten männlichen Tieren (Morris und Parker, 2010).

Die tagaktiven Orang-Utans leben in den Baumkronen des Regenwaldes, wo sie sich durch langsames vierhändiges Klettern fortbewegen (MacKinnon, 1974). Sie steigen nur selten zum Waldboden herab. Dort bewegen sie sich vierbeinig, wobei sie ihre Fäuste zur Unterstützung benutzen oder auf der gestreckten Handinnenkante laufen (Geissmann, 2003).

Orang-Utans weisen einen ausgeprägten Geschlechtsdimorphismus auf (Ankel, 1970). So sind die Männchen etwa doppelt so schwer und erreichen in der freien Natur ein Gewicht von bis zu 70 kg. Die weiblichen Tiere werden 35 bis 45 kg schwer (Morris und Parker, 2010).

Orang-Utans ernähren sich vorwiegend von Früchten mit harten Schalen oder Samen sowie zusätzlich von Blättern, Trieben und Rinde (Geissmann, 2003). Gelegentlich fressen sie auch Ameisen, Termiten und Bienen (Swindler, 1998). Nur selten werden sie beim Fleischfressen beobachtet (Geissmann, 2003).

2.1.2. Gorilla (*Gorilla gorilla*)

Die Unterscheidung erfolgt in zwei Arten: (1) Westlicher Gorilla und (2) Östlicher Gorilla, welche räumlich getrennt in Zentralafrika vorkommen. Traditionell wird die Art des Östlichen Gorillas in zwei Unterarten aufgeteilt, den Östlichen Flachlandgorilla (*G. beringei graueri*) und den Berggorilla (*G. beringei beringei*) (Geissmann, 2003). Nach neueren Untersuchungen wird der Westliche Gorilla ebenfalls in zwei Unterarten unterteilt, den Westlichen Flachlandgorilla und den Cross River-Gorilla (Morris und Parker, 2010).

Gorillas sind die größten heute lebenden Primaten. Die Männchen erreichen ein Gewicht von bis zu 200 kg (Geissmann, 2003) bei einer Größe von 1,70 m (Ankel, 1970). Die weiblichen Tiere werden bis zu 90 kg schwer (Fleagle, 1999)



Abb. 3: Fotografie eines männlichen Gorillas (© Jürg Adler / PIXELIO).

Die Nahrung des Gorillas besteht zum größten Teil aus Blättern (Geissmann, 2003). Des Weiteren fressen Gorillas Halme, Stängel, Rinde, Bambussprossen, Wurzeln, Reben und Ranken (Ankel, 1970). Im Allgemeinen klettern die schwergewichtigen adulten Tiere nur selten auf Bäume (Ankel, 1970). Die relativ langen Arme stehen im Kontrast zu den kurzen Beinen. Hände und Füße sind breit. Die Gorillas bewegen sich durch vierhändiges Gehen und Rennen am Boden fort. Eine Besonderheit des Gorillas ist der Knöchelgang. Hierbei wird die Hand auf der Außenfläche der mittleren Phalangen abgestützt (Geissmann, 2003).

2.1.3. Schimpanse (*Pan troglodytes*)

Die Gattung des Schimpansen wird in zwei Arten unterteilt: *Pan troglodytes* und *Pan paniscus*, auch Zwergschimpanse oder Bonobo genannt. *Pan troglodytes* wird weiter in vier Unterarten untergliedert: Westafrikanischer Schimpanse

(*P. troglodytes verus*), Zentralafrikanischer Schimpanse (*P. troglodytes troglodytes*), Ostafrikanischer Schimpanse (*P. troglodytes schweinfurthii*) und Nigeria-Schimpanse (*P. troglodytes vellerosus*). Diese Unterteilung resultiert aus Unterschieden in der Genetik, Anatomie, Verhaltensweise und Verbreitung der Tiere. Besonders der Westafrikanische Schimpanse weicht sehr stark bezüglich seiner Schädelmaße und DNA von den anderen Unterarten ab (Geissmann, 2003). Das Erbgut des Schimpansen stimmt zu 98,4% mit dem des Menschen überein (Fouts, 1998). Daher gehören die Schimpansen zu den nächsten Verwandten des Menschen.



Abb. 4: Fotografie eines adulten Schimpansen (© Uwe Janßen / PIXELIO).

Pan troglodytes hat ein großes Verbreitungsgebiet, welches sich vom Senegal im Westen nach Tansania im Osten wie ein breiter Gürtel über weite Teile Zentralafrikas erstreckt (Fleagle, 1999; Geissmann, 2003).

Die Schimpansen-Männchen können ein Körpergewicht von 43 bis 60 kg erreichen, die weiblichen Tiere werden bis zu 46 kg schwer (Geissmann, 2003). Der Geschlechtsdimorphismus ist bei den Schimpansen generell geringer ausgeprägt als bei den Gorillas und Orang-Utans. Hände und Füße sind graziler im Vergleich zum Gorilla. Die Proportionen der Extremitäten sind jedoch annähernd gleich (Ankel, 1970).

Schimpansen ernähren sich primär frugivor. Neben den Früchten fressen sie vorwiegend Nüsse und Blätter. Der tierische Anteil ihrer Nahrung kann bis zu 5% betragen und reicht von Fischen über kleine Säugetiere bis hin zu anderen Primaten wie beispielsweise Stummelaffen (*Ptilocolobus*) oder Paviane (*Papio*) (Geissmann, 2003). Die Nahrungsaufnahme erfolgt überwiegend in Bäumen, in welchen sie sich vierhändig kletternd oder an den Ästen entlang hangelnd fortbewegen. Eine Besonderheit der Schimpansen ist der Werkzeuggebrauch (Geissmann, 2003).

2.2. Schädelmorphologie der Pongiden

Ein wichtiges Merkmal des Primatenschädels sind die vollständig von Knochen umgebenen Orbitae, welche nach vorne gerichtet sind. Gorilla und Schimpanse verfügen über große Orbitae, die von stark ausgeprägten Überaugenwülsten (Torus supraorbitalis) geschützt werden. Hinter dem Torus weist der Schädel eine starke Einschnürung auf (Ankel, 1970). Der Orang-Utan hingegen hat relativ kleine Orbitae, die dicht beieinander liegen, auch der Torus supraorbitalis ist schwach ausgeprägt (Geissmann, 2003). Im Gegensatz zum Orang-Utan verfügen Gorillas und Schimpansen auch über Stirnhöhlen (Cave and Haines, 1940). Adulte Tiere der Gattung *Gorilla* können zusätzlich Mastoid-Fortsätze aufweisen (Ankel, 1970).

Der Orang-Utan unterscheidet sich in seinem Schädelbau deutlich von den afrikanischen Menschenaffen. Der Hirnschädel ist hoch und gewölbt, das Gesicht ist lang und zeichnet sich durch ein konkaves Profil aus (Geissmann, 2003). Die Schnauzenregion ist beim adulten Tier sehr kräftig entwickelt (Arlt, 1915). Im Vergleich zu den afrikanischen Menschenaffen verfügt der Orang-Utan über eine größere Fossa infratemporalis und größere Zähne (Stein und Willer, 1990). Damit ist er in der Lage größere Kräfte zu kompensieren als Gorillas und Schimpansen.

Im Vergleich zu den meisten anderen Primaten sind die Schädel der Großen Menschenaffen brachykephal (Selenka, 1898-1900). Dies resultiert aus der veränderten Lage des Foramen magnum. Das Foramen magnum verschob sich im Laufe der Evolution von dorsal nach kaudal (Ankel, 1970). Damit fand auch eine stärkere Abknickung der Schädelbasis gegenüber dem Gesichtsschädel statt. Fanghänel (1974) schloss aufgrund experimenteller Untersuchungen an Ratten,

denen die vorderen Extremitäten amputiert wurden, dass es sich dabei um eine Anpassung an den aufrechten Gang handelt. Seine Amputationsstudien führten bei den Ratten zu einer Brachykephalie.

Die Großen Menschenaffen weisen eine beträchtliche Variabilität in ihrem Schädelbau auf. Der Formwandel im Schädelbau der Primaten ist nicht nur von genetischen Komponenten, sondern auch von auf den Schädel einwirkenden Kräften abhängig (Biegert, 1957; Aiello and Dean, 1990). Die Abbildung 5 zeigt lokale und allgemeine Einflussfaktoren auf die ontogenetische Schädelentwicklung, welche durch Schumacher (1968) zusammengefasst wurden.

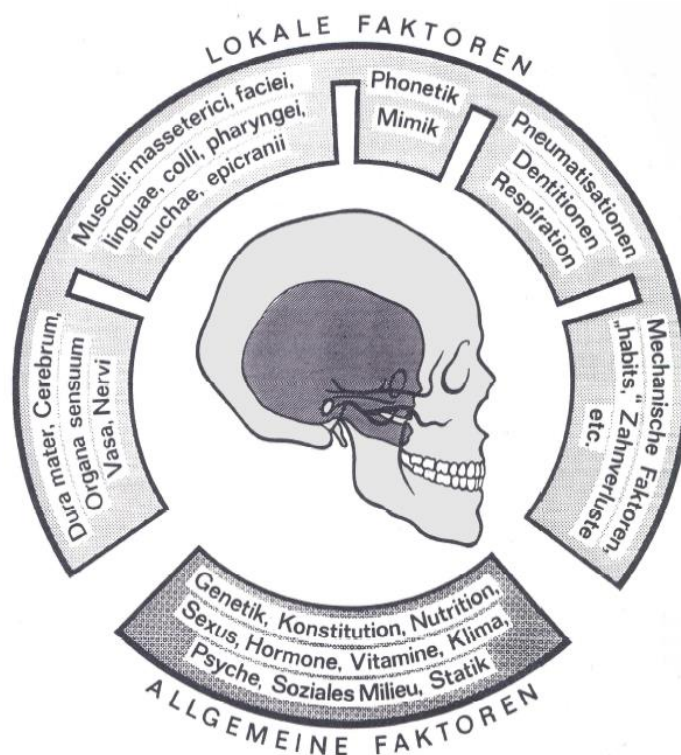


Abb. 5: Schema der auf das kraniofaziale Wachstum wirkenden Faktoren während der Odontogenese [aus Schumacher (1997), verändert nach Fanghänel (1974)]. Abdruck erfolgt mit freundlicher Genehmigung von J. Fanghänel.

Ein wichtiger auf das kraniofaziale Wachstum wirkender mechanischer Faktor ist der Kaudruck, welcher von den Zähnen über den Gesichtsschädel auf den Hirnschädel abgeleitet wird, sodass Hirn- und Gesichtsschädel eine dynamische Einheit bilden (Gaul, 1933). Stratil und Schmid (1984) konnten am Gorillaschädel zeigen, dass das Wachstum der Sagittalmaße in allen Schädelregionen größer ist

als das Wachstum der Transversalmaße. Dies führten sie ebenfalls auf die Mechanik des Kauapparates zurück. Über ähnliche Beobachtungen am Schädel von Makaken berichtete Reckzeh (2011).

Die männlichen Tiere der Gattungen *Gorilla* und *Pongo* haben stark ausgeprägte sagittale sowie okzipitale Knochenkämme, die als vergrößerte Ansatzstelle für die Kau- und Nackenmuskulatur dienen. Je mächtiger die entsprechenden Muskeln ausgeprägt sind, desto höher sind die Knochenkämme (James, 1960; Ankel, 1970). Diese Knochenstrukturen sind bei den weiblichen Vertretern dieser Gattungen geringer ausgebildet. Der ausgeprägte Geschlechtsdimorphismus bildet sich jedoch erst in der letzten Entwicklungsphase aus (Stratil und Schmid, 1984).

In vergleichenden Untersuchungen an Orang-Utan Schädeln stellte Selenka (1898-1900) fest, dass eine Geschlechtsbestimmung an infantilen und juvenilen Schädeln unsicher ist. Er erkannte, dass erst mit dem vollständigen Durchbruch der permanenten Eckzähne die markanten Umbauvorgänge an den Schädeln männlicher Tiere beginnen. Im Gegensatz dazu ändert sich die Schädelform der weiblichen Tiere nach dem Eckzahndurchbruch kaum (Selenka, 1898-1900).

Auch der Lebensraum hat einen bedeutenden Einfluss auf die Entwicklung der Primaten. So entwickeln sich beispielsweise Schimpansen in der Wildnis langsamer als in Gefangenschaft. Bei wildlebenden Schimpansen kann es bis zu drei Jahre länger dauern bis sie vollständig ausgewachsen sind (Zihlman et al., 2004).

Eine Untersuchung zu Größe und Anzahl der hinteren Zähne bei Primaten wurde von Ribeiro et al. (2013) veröffentlicht. Die Arbeitsgruppe berichtet, dass die absolute Größe und Anzahl der Seitenzähne nicht nur von lokalen Faktoren sondern auch von allgemeinen Faktoren wie beispielsweise Größe und Form des Kiefers sowie dem von anderen Zahngruppen benötigten Platz abhängig ist. Sie stellten ferner heraus, dass die Größe des ersten Molars und die der zweiten und dritten Molaren korrelieren. So zeigte sich, dass mit zunehmender Größe des ersten Molars, die Größe der zweiten und dritten Molaren abnahm. Ribeiro et al. (2013) erklären das Vorhandensein von lediglich zwei Prämolaren bei den

Pongidae durch das Vorhandensein eines großen Molarenfeldes, welches relativ große zweite und dritte Molaren aufnimmt.

2.3. Zähne der Pongiden

2.3.1. Zahnformel

Das Primatengebiss ist wie das der meisten Säugetiere heterodont (Schumacher, 1997). So besteht das Gebiss eines Primaten aus vier unterschiedlichen Zahntypen: Inzisivi (I), Canini (C), Prämolaren (P) und Molaren (M). Zahnzahl und Zahnform sind wichtige Unterscheidungsmerkmale der Primaten, da die Anzahl der verschiedenen Zahntypen unterschiedlich und gruppenspezifisch ist (Ankel, 1970; Aiello and Dean, 1990; Geissmann, 2003).

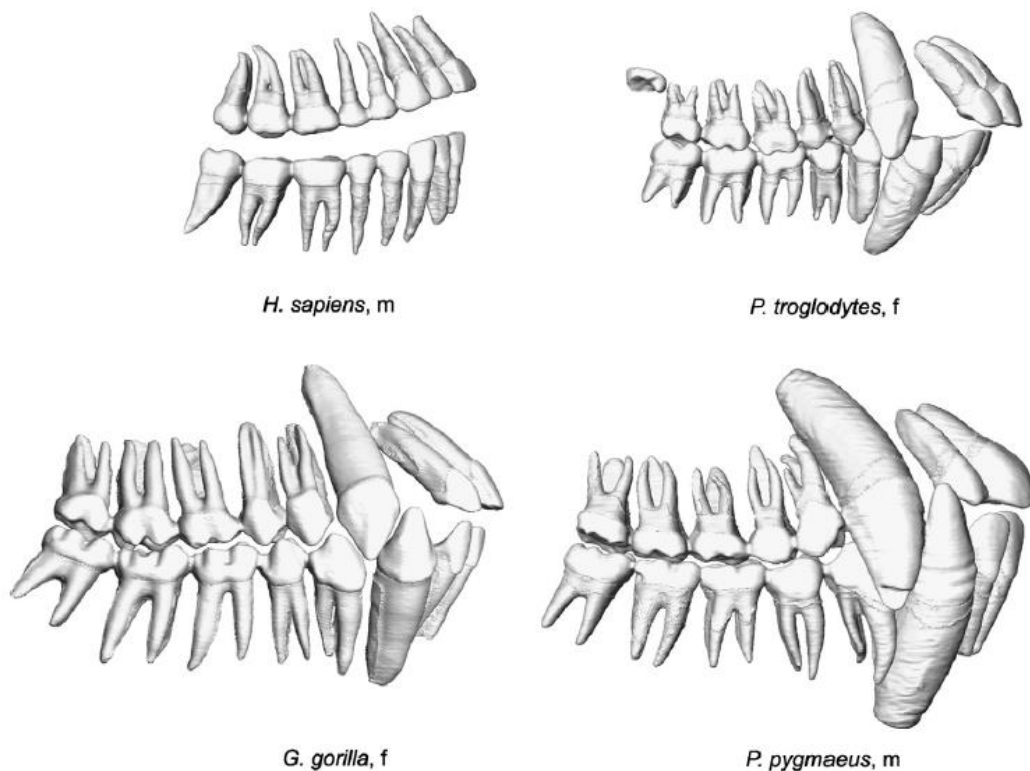


Abb. 6: Dreidimensionale Darstellung der Gebisse von *Homo sapiens*, *Pan troglodytes*, *Gorilla gorilla* und *Pongo pygmaeus* von lateral. Auffällig ist der zusätzliche vierte Molar bei einem Schimpansen (aus Kupczik and Dean, 2008). Mit freundlicher Genehmigung von K. Kupczik.

Weitere Merkmale der Säugetiere und somit auch der Primaten sind Thekodontie und Diphyodontie (Schumacher und Schmidt, 1982). Thekodontie bezeichnet die Verankerung der Zahnwurzeln in den Alveolen des Kiefers. Unter Diphyodontie wird das Auftreten von zwei Zahngenerationen verstanden: Milchgebiss und permanentes Gebiss (Schumacher und Schmidt, 1982).

Bei den meisten Säugetierarten ist die Zahnzahl der einzelnen Zahntypen konstant, sodass es möglich ist, sie in einer Zahnformel darzustellen (Aiello and Dean, 1990; Geissmann, 2003). Es wird davon ausgegangen, dass die ursprüngliche Zahnformel der Primaten $\frac{2.1.4.3.}{2.1.4.3.} \times 2 = 40$ lautet (Geissmann, 2003). Im Verlauf der Evolution kam es zum Verlust des ersten Prämolars. So lautet die Zahnformel des letzten gemeinsamen Vorfahren der noch heute lebenden Primaten: $\frac{2.1.3.3.}{2.1.3.3.} \times 2 = 36$ (Geissmann, 2003). Diese Zahnformel findet sich heute noch bei Neuweltaffen (Platyrrhini).

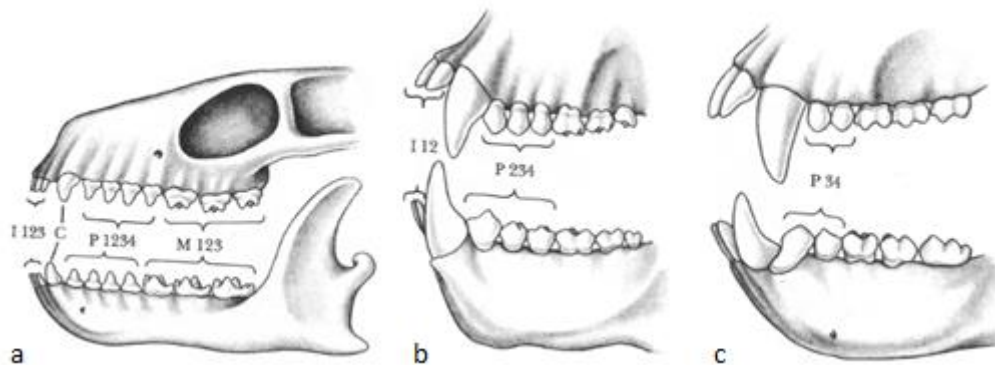


Abb. 7: Fortschreitende Reduktion der Zahnzahl im Verlauf der Evolution der Primaten. (a) ursprüngliche Zahnzahl der Primaten $\frac{3.1.4.3.}{3.1.4.3.} \times 2 = 44$, (b) der Neuweltaffen (Platyrrhini) $\frac{2.1.3.3.}{2.1.3.3.} \times 2 = 36$ und (c) der Altweltaffen (Catarrhini) $\frac{2.1.2.3.}{2.1.2.3.} \times 2 = 32$ nach Le Gros Clark (1959) aus Conroy (1990). Abdruck erfolgt mit freundlicher Genehmigung von G. Conroy.

Bei den Altweltaffen (Catarrhini), zu denen die hier untersuchten Orang-Utans, Gorillas und Schimpansen zählen, kam es jedoch zum Verlust eines weiteren Prämolars (Conroy, 1990). Damit besteht das permanente Gebiss dieser Tiere pro Quadrant aus zwei Inzisivi, einem Caninus, zwei Prämolaren und drei Molaren

($\frac{2.1.2.3.}{2.1.2.3.} \times 2 = 32$). Es wird angenommen, dass es sich bei den verloren gegangenen Zähnen um die an den Eckzahn grenzenden Zähne handelte (Conroy, 1990). So haben alle Altweltaffen den ersten und zweiten Prämolaren verloren und die gebliebenen zwei Prämolaren werden aus phylogenetischer Sicht immer noch als P3 und P4 bezeichnet (Conroy, 1990).

Überzählige vierte Molaren

Gelegentlich treten bei den rezenten Hominiden überzählige vierte Molaren auf. Nach Selenka (1898-1900) trifft dies in etwa 8% der Fälle beim Gorilla und in etwa 20% der Fälle beim Orang-Utan ein. Selenka (1898-1900) vermutet, dass das Auftreten vierter Molaren mit den stark ausgeprägten, kräftigen Kiefern und Gebissen dieser Tiere in Zusammenhang steht. Die Form und Größe der vierten Molaren ist sehr variabel. Sie können die gleiche Gestalt und Größe aufweisen wie die übrigen Molaren, etwas kleiner sein, stiftartig mit runzlicher Kaufläche oder verkümmert. Selten weisen die überzähligen Molaren die gleiche Gestalt wie die sich mesial befindenen Molaren auf. Häufig sind sie zierlicher und um ein bis zwei Höcker reduziert (Selenka, 1898-1900).

Beim Menschen kommen überzählige Zähne im Molarenbereich zu 0,5% vor (Rajab and Hamdan, 2002). Eine aktuelle Meta-Analyse zum Thema multiple überzählige Zähne beim Menschen wurde von Alvira-González und Gay-Escoda (2012) verfasst. Nach dieser Studie kommen überzählige Zähne häufiger beim männlichen Geschlecht vor. Es besteht jedoch kein Geschlechtsdimorphismus bezüglich Anzahl und Lokalisation. Desweiteren treten überzählige Zähne nicht selten bilateral auf.

2.3.2. Grundlagen zur Zahnentwicklung

Entstehung der Zahnkrone

Die Zahnentwicklung umfasst alle Entwicklungsstufen von der ersten Anlage eines Milchzahns bis zur Eruption der permanenten Zähne (Schumacher und Schmidt, 1982; Nanci, 2013). Zu Beginn der Zahnentwicklung verdickt sich die Basalmembran des Mundhöhlenepithels, welches ektodermalen Ursprungs ist.

Dies führt zur Einsenkung des Mundhöhlenepithels in das subepitheliale Bindegewebe, welches aus dem Mesektoderm hervorgeht. Aus diesem eingestülpten Zellhaufen entsteht die Zahnleiste (Boenig und Bertolini, 1967). Im Verlauf der menschlichen Zahnentwicklung sprossen aus der Zahnleiste zunächst je 10 Zahnknospen pro Kiefer (Sadler, 1998). Die Studien von Bolk (1913) an Affen und von Greiner (1929) an Halbaffen zeigten jedoch, dass die Zahnkeime der untersuchten Affen und Halbaffen ihren Ursprung direkt aus dem Mundhöhlenepithel nehmen und die Zahnleiste parallel dazu beziehungsweise erst verspätet entsteht (Schumacher und Schmidt, 1982).

Die Zahnanlagen im Knospenstadium werden durch das umgebende mesenchymale Bindegewebe eingestülpt, sodass eine aus zwei Blättern bestehende Zahnkappe entsteht. Diese setzt sich aus einer inneren Schicht, dem inneren Schmelzepithel, sowie einer äußeren Schicht, dem äußeren Schmelzepithel, zusammen (Sadler, 1998; Nanci, 2013). Das eingestülpte mesenchymale Bindegewebe verdichtet sich und bildet die Zahnpapille. Durch das weitere Wachstum der Kappenränder sowie das Fortschreiten der Einsenkung der Zahnpapille nimmt die Zahnanlage eine glockenförmige Gestalt an. Ab dem Auftreten eines Zellnetzes zwischen dem inneren und äußeren Schmelzepithel (Schmelzretikulum) wird die Zahnglocke auch Schmelzorgan genannt (Nanci, 2013).

Im weiteren Verlauf differenzieren sich die Zellen der Zahnpapille, welche dem inneren Schmelzepithel anliegen, zu Odontoblasten. Diese produzieren Prädentin, welches später zu Dentin mineralisiert. Die restlichen Zellen der Papille bilden nach ihrer Differenzierung die Zahnpulpa (Sadler, 1998). Aus den Zellen des inneren Schmelzepithels gehen die Ameloblasten hervor. Diese beginnen mit der Schmelzbildung im Bereich der späteren Zahnhöcker. Die tägliche Schmelzbildungsrate kann histologisch bestimmt werden und gilt als Maßstab für das Zahnwachstum (Nanci, 2013).

Das mesenchymale Bindegewebe, welches die gesamte Zahnanlage umgibt verdichtet sich zu einem Zahnsäckchen. Aus diesem gehen später die periodontalen Gewebe hervor. Dazu zählen Zahnzement, der dentoalveoläre

Bindegewebsapparat und die alveoläre Knochenkompakta (Schumacher und Schmidt, 1982).

Quantitative Studien zur Zahnentwicklung bei Hominoiden

Die tägliche Schmelzbildungsrate beträgt bei *Pongo* im Durchschnitt 4,7 bis 5,3 μm , bei *Gorilla* 6,1 μm und bei *Pan* 4,4 bis 5,0 μm (Beynon et al., 1991b). Dirks (1998) verglich mit Hilfe der Dentin- und Schmelzbildungsrate die Zahnentwicklung von *Hylobates lar* und den Großen Menschenaffen. Die Schmelzbildungsrate war auch Grundlage der Untersuchung von Dean et al. (2001), welche die Zahnentwicklung des modernen Menschen mit *Homo erectus* und anderen fossilen Funden der Gattung *Homo* verglichen. So konnten Dean et al. (2001) zeigen, dass die heutige Form der Zahnentwicklung sich erst relativ spät im Verlauf der menschlichen Evolution ausgebildet hat.

Die Arbeiten von Kelly and Smith (2003) und Zhao et al. (2008) basieren ebenfalls auf Untersuchungen des Zahnschmelzes. Durch Zählung der Wachstumslinien zwischen den Perikymatien kann der Zeitraum der Kronenbildung bei sich noch in der Entwicklung befindenden Individuen bestimmt werden. Beynon et al. (1991a) definierten die Kronenbildungszeit als Zeitraum von Beginn der Mineralisation bis zur vollständigen Ausbildung des verlängerten bukkalen Anteils bis zum Zahnhals.

Bis heute ist die Bestimmung des exakten Lebensalters von Fossilien nur durch Zählung der Perikymatien möglich (Conroy and Vannier, 1991). Zur Schätzung des Alters eines Individuums müssen jedoch auch der Zeitraum bis zum Beginn der postnatalen Kronenbildung und die Durchbruchszeiten berücksichtigt werden. Solche Daten können nur durch Untersuchung der heute lebenden Primaten erhoben werden. So konnten Kelly and Smith (2003) das Alter von *Afropithecus turkanensis* (frühes Miozän) und Zhao et al. (2008) das Alter von *Lufengpithecus lufengensis* (spätes Miozän) schätzen. Die Schätzungen beruhten auf Anzahl der Perikymatien eines Inzisivus in Kombination mit der von Primaten und Menschen bekannten postnatalen Verzögerung der Schmelzbildung sowie einem Vergleich der Durchbruchszeiten des ersten Molars, welcher sich bei beiden fossilen Funden in Durchbruch befand.

Beynon et al. (1991a) untersuchten einen jungen adulten Orang-Utan unbekannten Alters nach Tetrazyklingabe. Die Tetrazyklinlinien im Schmelz ermöglichten einen Vergleich der Stadien der Zahnentwicklung aller permanenten Zähne zum Zeitpunkt der Einnahme. Die erste Tetrazyklinlinie befand sich in der okklusalen Hälfte der Schneidezahnkrone und in der zervikalen Hälfte der Krone von M1. Der M3 wies keine Tetrazyklinlinie auf und hatte demnach zum Zeitpunkt der letzten Einnahme noch nicht mit der Ausformung begonnen (Beynon et al., 1991a).

Bei *Pan* benötigt die Kronenbildung der permanenten Eckzähne etwa 5,8 Jahre bei den weiblichen und ca. 6,8 Jahre bei den männlichen Tieren. Untersuchungen bei *Gorilla* und *Pongo* zeigten ebenfalls eine längere Kronenbildungszeit bei den männlichen Tieren (Dean, 2000). Einen umgekehrten Geschlechtsdimorphismus konnten Koppe and Swindler (2004) an den Milchzähnen verschiedener Altweltaffen zeigen. Zudem belegen ihre Untersuchungen, dass einige Abmessungen der Milchzähne der weiblichen Altweltaffen größer waren als bei den männlichen.

Dirks (2003) untersuchte den Einfluss der Nahrung auf die Zahnentwicklung mit histologischen Methoden. Sie stellte fest, dass bei Arten mit folivorer Ernährung im Vergleich zu weniger folivoren Arten die Kronenbildung der Molaren früher beginnt, die Kronenbildungszeit kürzer ist und der Durchbruch des dritten Molars früher erfolgt. Die kürzere Zahnentwicklung resultiert vermutlich aus der Notwendigkeit Blätter frühzeitig verarbeiten zu können, um das Körperwachstum zu unterstützen, welches im Vergleich zu frugivoren Arten ebenfalls beschleunigt ist.

Gorilla, Orang-Utan und Schimpanse weisen ein ähnliches Wachstumsmuster der Zahnkronen auf (Beynon et al., 1991a; Dean, 2000). Der Orang-Utan benötigt jedoch insgesamt mehr Zeit zur Fertigstellung der Zähne. Die Ober- und Unterkieferschneidezähne mineralisieren im ersten Jahr – mit leichter Verzögerung von I2. Beim Orang-Utan beträgt die Kronenbildungszeit der Schneidezähne 1,8 bis 3 Jahre, der Eckzähne 2,6 bis 4 Jahre und der ersten Prämolaren 1,5 bis 3 Jahre. Somit dauert die Kronenbildung der anterioren Zähne deutlich länger als vorangegangene radiologische Studien (Dean and Wood, 1981) vermuten lassen. Die Krone von M1 ist mit 3 Jahren vollständig ausgebildet.

Beim Menschen beginnt die Mineralisation der Molarenkronen von M1 und M2 und besonders von M2 und M3 zeitlich versetzt (Anemone and Watts, 1992). Im Gegensatz dazu gibt es bei den Großen Menschenaffen eine stärkere Überschneidung der Kronenbildungszeiten (Beynon et al., 1991a; Anemone and Watts, 1992; Dean, 2000). Anemone et al. (1991) zeigten bereits, dass die Mineralisation benachbarter Molarenkronen zeitlich überlappt. Die Mineralisation der Krone eines Molars beginnt, bevor der mesial stehende Molar seine Kronenbildung abgeschlossen hat. Auch Winkler et al. (1991) konnten zeigen, dass die Mineralisation des M2 beginnt, sobald sich weniger als die Hälfte der Krone von M1 entwickelt hat. Desweiteren scheint die Dauer der Kronen- und Wurzelbildung vom ersten bis zum letzten Molaren zuzunehmen (Anemone et al., 1991).

Entstehung der Zahnwurzel

Die Bildung der Zahnwurzel beginnt kurz vor und endet erst mehrere Jahre nach dem Durchbruch der Zähne (Boenig und Bertolini, 1967). Der Bereich des Glockenstadiums, indem sich inneres und äußeres Schmelzepithel einander anliegen, wird Hertwig'sche Epithelscheide genannt (Moore et al., 2013). Sie verlängert sich, wächst nach innen, umgreift den Wurzelteil der Papille und bildet schließlich das zukünftige Foramen apicis dentis (Sadler, 1998). Die Hertwig'sche Epithelscheide bestimmt Anzahl, Aussehen und Länge der Wurzeln (Moore et al., 2013).

Die der Epithelscheide anliegenden Zellen differenzieren sich ebenfalls zu Odontoblasten, welche das Wurzeldentin produzieren. Dieses Dentin lagert sich kontinuierlich nach innen ab, bis ein schmaler Kanal übrigbleibt, der die Nerven und Blutgefäße des Zahnes aufnimmt (Sadler, 1998). Bei mehrwurzigen Zähnen wird die weite Öffnung der Zahnglocke durch Epithelbrücken in 2 oder 3 zukünftige Foramina unterteilt (Abb. 8), von deren Rändern jeweils das Wurzelwachstum ausgeht (Schumacher und Schmidt, 1982).

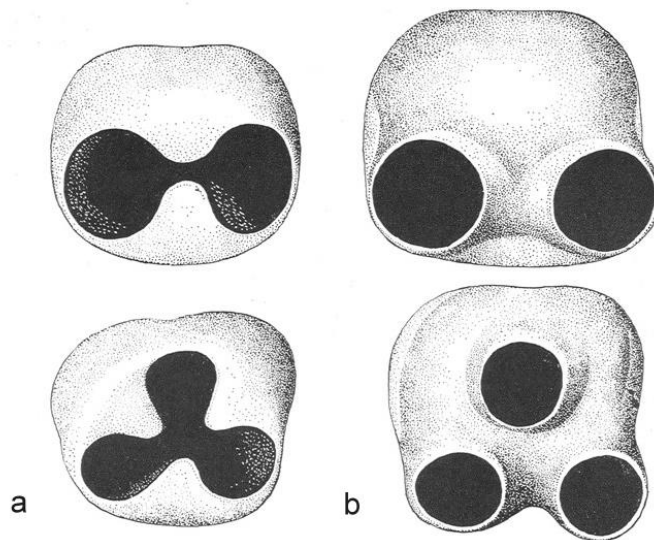


Abb. 8: Rekonstruktionsmodelle mehrwurziger Zahnkeime von der Basis her gesehen. (a) Anlage der Dentinbrücken, (b) Bifurkation ausgebildet, beginnende Wurzelbildung nach Sicher und Tandler (1928) aus Schumacher und Schmidt, 1982. Abdruck erfolgt mit freundlicher Genehmigung von G.-H. Schumacher.

Aus einer langsamen Konstriktion der Wurzelscheide resultieren lange Zahnwurzeln (Moore et al., 2013). Dean (2000) nennt drei Faktoren, die das Längenwachstum der Zahnwurzel bestimmen: (1) tägliche Bildungsrate gewebeproduzierender Zellen, (2) Richtung der Zellbewegung sowie (3) Differenzierungsrate der reifen sekretorischen Zellen.

Durch das Wachstum der Wurzelscheide stößt die Zahnanlage auf bereits verknöcherte Areale und wird somit bei weiterem Längenwachstum der Wurzel aktiv in Richtung Mundhöhle gedrückt (Boenig und Bertolini, 1967). Marks and Cahill (1984) hingegen messen dem Zahnkeim selbst nur eine passive Rolle beim Zahndurchbruch zu. Stattdessen sind das Zahnsäckchen, das Periodontalligament und der Alveolarknochen ursächlich für den Zahndurchbruch (Marks and Cahill, 1984). Untersuchungen von Dean and Cole (2013) zeigen, dass die Wurzelwachstumsrate (Quotient aus der Wurzellänge und den Tagen des Wurzelwachstums) eine Folge des Zahndurchbruchs und nicht dessen Ursache ist. Nach erfolgter Resektion einer wachsenden Wurzel erfolgt der Zahndurchbruch weiter. Daraus lässt sich ableiten, dass der Zahndurchbruch nicht allein durch das Wurzelwachstum vorangetrieben wird (Dean and Cole, 2013).

Wurzelentwicklung von Mensch und Großen Menschenaffen

Die Individualentwicklung des Menschen ist im Vergleich zu den Großen Menschenaffen deutlich verlängert. Dies ist auch an der Entwicklung der Zähne ersichtlich. So zeigen Dean and Wood (1981), dass trotz der substantiell größeren Zähne der Großen Menschenaffen die Zahnentwicklung beim Menschen länger dauert. Trotz ähnlicher Kronenbildungszeit nimmt die Wurzelentwicklung bei den Großen Menschenaffen deutlich weniger Zeit in Anspruch als beim Menschen (Dean and Wood, 1981; Alt und Türp, 1997; Dean, 2000).

Im Vergleich zu *Pongo*, *Gorilla* und *Pan* ist die Zahnwurzeloberfläche des Menschen bei Erreichen der funktionellen Okklusion größer. Dies ist trotz reduzierter Zahngröße und kleineren Kaukräften möglich, weil die menschlichen Zähne über einen längeren Zeitraum im Vergleich zu den Pongidae wachsen (Dean and Cole, 2013).

Emonet et al. (2012) zeigten Variationen der Wurzelanzahl bei den Pongidae. Die Unterkiefermolaren M1 und M2 weisen bis auf einzelne Ausnahmen jeweils zwei Wurzeln auf. Der dritte Molar hingegen verfügt über zwei bis drei Wurzeln. Die Anzahl der Prämolarenwurzeln variiert stark. Der erste Unterkieferprämolar ist bei *Pongo* zwei-, drei- oder vierwurzig, bei *Gorilla* zwei- oder dreiwurzig und bei *Pan* ein-, zwei- oder dreiwurzig. Der zweite Unterkieferprämolar weist bei *Pongo* und *Pan* zwei oder drei Wurzeln auf und bei *Gorilla* zwei, drei und in einem Fall sogar vier Wurzeln (Emonet et al., 2012).

Desweiteren arbeiteten Emonet et al. (2012) hinsichtlich der Zahnwurzeln deutliche Unterschiede zwischen Orang-Utans und den afrikanischen Menschenaffen heraus. So weist der Orang-Utan dünne und ventral vertiefte Schneidezahnwurzeln, eine sehr robuste mesiale Wurzel des ersten Prämolars sowie ventral vertiefte Molarenwurzeln auf. Im Gegensatz dazu weisen die afrikanischen Menschenaffen folgende Besonderheiten auf: (1) erster Prämolar mit dünner mesialer Wurzel, (2) zweiter Prämolaren mit divergierenden Wurzeln sowie (3) Molaren mit nach ventral abgeflachten und mesio-distal verbreiterten Wurzeln.

2.3.3. Zahndurchbruch beim Orang-Utan

Der Zeitpunkt des Erscheinens der Zahnkeime und die Eruptionsreihenfolge werden vom dem im Kiefer verfügbaren Platz maßgeblich beeinflusst (Dean, 2000). Im Durchschnitt ist die Zahnentwicklung bei den Großen Menschenaffen nach etwa 11 bis 12 Jahren beendet (Dean, 2000).

Die Großen Menschenaffen sowie der Mensch weisen zum Zeitpunkt der Geburt keine Zähne auf. Wie auch beim Menschen besteht das Milchgebiss der hier untersuchten Primaten *Pongo*, *Pan* und *Gorilla* aus 20 Zähnen. Zum Zeitpunkt der Geburt sind nur die Zahnkeime der Milchzähne radiologisch nachweisbar (Winkler et al., 1991). Innerhalb der ersten beiden Lebenswochen beginnt bei den meisten Primaten der Milchzahndurchbruch. Beim Orang-Utan und Schimpansen ist dieser jedoch verzögert (Alt und Türp, 1997; Dean, 2000) und beginnt beim Orang-Utan 120 Tage nach der Geburt (Smith et al., 1994). Beim Orang-Utan nimmt der Durchbruch aller Milchzähne im Durchschnitt 291 Tage in Anspruch, wobei der Zahndurchbruch bei weiblichen Tieren etwa einen Monat früher beginnt (Fooden and Izor, 1983). Im Allgemeinen brechen die Zähne des Oberkiefers kurz nach ihren korrespondierenden Partnern im Unterkiefer durch (Fooden and Izor, 1983).

Verfügbare Studien zur Durchbruchsreihenfolge der Milchzähne beim Orang-Utan belegen, dass zuerst der erste mittlere Schneidezahn gefolgt vom seitlichen Schneidezahn durchbricht. Danach tritt der erste Milchmolar gefolgt vom zweiten Milchmolar in die Mundhöhle. Zuletzt bricht der Eckzahn durch (Fooden and Izor, 1983; Winkler et al., 1991). Selenka (1898-1900) berichtet, dass der Milcheckzahn vor dem zweiten Milchmolar durchbricht. Brandes (1931) und Schultz (1941) beobachteten den Durchbruch des ersten Milchmolars bereits nach dem des mittleren Schneidezahnes. Winkler et al. (1991) werteten diese Unterschiede in den Durchbruchsreihenfolgen als Schwankungen zwischen den Individuen innerhalb der Spezies. Selenka (1898-1900), Krogman (1930) sowie Clements and Zuckerman (1953) sind der Auffassung, dass kein Geschlechtsdimorphismus bezüglich der Durchbruchsfolge besteht.

Nach Vollendung der Kronenbildung der Milchzähne und deren Durchbruchsbeginn ist zunächst nur der M1 der bleibenden Dentition des Orang-

Utans radiologisch nachweisbar (Winkler et al., 1991). Bei Vollendung der Kronenbildung von M1 des Orang-Utans hat die Mineralisierung aller permanenten Zähne, mit Ausnahme von M3 begonnen (Winkler et al., 1996).

Der Zahndurchbruch der permanenten Zähne beginnt mit der Resorption des Alveolarknochens. Dem folgt die Verdrängung des Milchzahns durch Auflösung der Milchzahnwurzeln. Die weitere Eruption gleicht der der Milchzähne. Nach Erreichen der Okklusionsebene werden die permanenten Ersatzzähne durch den beim Durchbruch der Molaren entstehenden Druck nach mesial verschoben, wodurch die nach distal gekrümmten Wurzelspitzen entstehen (Schumacher und Schmidt, 1982). Der Durchbruch der permanenten Zähne beginnt beim Orang-Utan mit etwa 3,5 Jahren (M1) und endet mit etwa 10 Jahren (M3) (Fooden and Izor, 1983).

Die Angaben der verschiedenen Autoren zur Durchbruchsreihenfolge der permanenten Dentition variieren. Allen Untersuchungsergebnissen ist jedoch gemein, dass zuerst der M1 durchbricht, danach folgt zunächst eine längere Pause (Selenka, 1898-1900; Krogman, 1930). Dann brechen die Inzisivi, Prämolaren und zweiten Molaren durch. Hierbei weichen jedoch die Untersuchungsergebnisse von Selenka (1898-1900), Krogman (1930), Schultz (1941) sowie Winkler et al. (1991) bezüglich der Durchbruchsreihenfolge voneinander ab. Im Anschluss erfolgt der Durchbruch der Eckzähne (Selenka, 1898-1900; Krogman, 1930), welcher sich nach Auffassung von Winkler et al. (1991) jedoch schon früher ereignet. Zum Schluss brechen die dritten Molaren durch (Selenka, 1898-1900).

Dean and Wood (1981) berichten, dass beim Orang-Utan große Schwankungen während der Kronen- und Wurzelentwicklungsphase, in der Reihenfolge des Zahndurchbruchs sowie im Grad der Überlappung der Mineralisation benachbarter Molarenkronen bestehen. Auch Winkler et al. (1996) wiesen eine große Variation der individuellen Zahnentwicklung, der Durchbruchsmuster und dem Stand der Wurzelentwicklung zum Zeitpunkt der Eruption beim Orang-Utan nach. So ist beispielsweise während des Durchbruchs von M1 die Krone von I1 in einigen Fällen komplett ausgebildet und in anderen Fällen noch unvollständig (Winkler et al., 1996). Die relative Wurzellänge variiert ebenfalls stark zwischen Orang-Utans

des gleichen Durchbruchsstadiums (Winkler et al., 1996). Innerhalb eines Individuums besteht jedoch eine hohe Korrelation zwischen Ober- und Unterkieferzahnpaaren sowie zwischen vielen permanenten Zähnen (Winkler et al., 1996).

Kahumbu and Eley (1991) untersuchten die Zahndurchbruchszeiten bei gefangenen und wild lebenden Pavianen. Aufgrund des früher beginnenden Zahndurchbruchs bei den in Gefangenschaft lebenden Tieren vermuten diese Autoren, dass ein besserer Ernährungszustand und qualitativ hochwertigeres Futter ein Grund für diese Abweichung sein könnten. Zihlman et al. (2004) verglichen die Zeitpunkte des Zahndurchbruchs bei in Gefangenschaft lebenden und wild lebenden Schimpansen. Der Zahndurchbruch in den wilden Populationen vollzog sich später als bei 90% der gefangen gehaltenen Tiere. Nach den Untersuchungen von Kelly und Schwartz (2010) erfolgt der Durchbruch des M1 bei wild lebenden Borneo Orang-Utans auf Grund der vergleichsweise langen Individualentwicklung von Orang-Utans erst mit 4,6 Jahren und damit später als bei Gorilla (3,8 Jahre) und Schimpanse (4,0 Jahre).

Kelley et al. (2009) untersuchten bei den Großen Menschenaffen den Entwicklungsstand der Wurzeln während des Durchbruchs der Molaren durch die Gingiva. Es zeigte sich, dass während des Durchbruchs der ersten und zweiten Molaren die mesiale Wurzel am längsten ist. Die distalen und mesiobukkalen Wurzeln weisen zu diesem Zeitpunkt als auch während des gesamten Zahndurchbruchs eine vergleichbare Wurzellänge auf. Bei den untersuchten Spezies ist die Wurzellänge des *Gorillas* zum Durchbruchszeitpunkt am größten und die von *Pan* und *Pongo* einander sehr ähnlich (Kelley et al., 2009). Dean (2007) hebt in diesem Zusammenhang hervor, dass mehr über die Zahnentwicklung von fossilen Primaten in Erfahrung gebracht werden könnte, wenn bessere Daten für das Wurzelwachstum beim modernen Menschen und rezenten Primaten existieren würden.

Hinzu kommt, dass ein direkter Vergleich des Zahndurchbruchs zwischen fossilen Funden und rezenten Arten erschwert ist, da bei fossilen Funden in der Regel kein Weichgewebe mehr vorhanden ist (Dean, 2000). In zahlreichen Arbeiten erfolgt

daher eine histologische Untersuchung der Zähne (Dirks, 1998 und 2003; Dean, 2000; Moggi-Checci, 2001; Ramirez-Rozzi, 2002).

2.3.4. Zahnwurzeln

Die Zahnwurzeln variieren in Anzahl, Form und Stärke je nach den funktionellen Belastungen der jeweiligen Zahnkrone (Lehmann, 2002). Zu den Zahnwurzeln gibt es im Vergleich zu den Zahnkronen weniger Untersuchungen. Emonet et al. (2012) erläutern die Vorteile von Untersuchungen der Zahnwurzeln: sie sind häufig in fossilen Ober- und Unterkieferfragmenten gut erhalten und weisen im Vergleich zur Zahnkrone weniger Abnutzungserscheinungen auf.

Kupczik and Dean (2008) nutzen die Wurzelmorphologie zum Vergleich des ausgestorbenen Primaten *Gigantopithecus blacki* mit den rezenten Menschenaffen, dem großen Panda (*Ailuropoda melanoleuca*) und dem Amerikanischen Schwarzbären (*Ursus americanus*). Bei *Gigantopithecus blacki* finden sich ähnliche Wurzelmuster wie bei den Menschenaffen. Die Wurzeloberfläche gleicht der des großen Pandas und resultierte wahrscheinlich aus der Anpassung an große okklusale Kräfte beim Kauen des Futters.

In Relation zu den anderen Hominidae hat *Pongo* die längsten Schneide- und Eckzahnwurzeln (Kupczik and Dean, 2008). Diese langen Wurzeln resultieren wahrscheinlich aus der großen Beanspruchung der Schneidezähne durch das Abmeißeln der Rinde von den Bäumen (Nambiar et al., 2013). Zudem sind die Schneidezahnwurzeln bei *Pan* und *Pongo* länger als die Prämolaren- und Molarenwurzeln (Kupczik and Dean, 2008). Dies verhält sich beim Menschen genau umgekehrt und ist beim Gorilla schwächer ausgeprägt.

Bei der Untersuchung von Schimpansenschädeln zeigten Cobb and Baverstock (2009), dass die zunehmende Wurzellänge entlang der Zahnreihe mit der Gesichtshöhe, jedoch nicht mit der Gesichtslänge korreliert. Des Weiteren beschrieben Cobb and Baverstock (2009) nicht nur große interindividuelle Unterschiede bezüglich der Wurzellängen gleicher Zähne, sondern auch bezüglich des Musters der Wurzellängen zwischen Zahntypen. So gibt es Zahnreihen mit

relativ gleich langen Wurzeln und welche mit nach distal abnehmender Wurzellänge.

In diesem Zusammenhang stellten Cobb and Baverstock (2009) drei Hypothesen für die Existenz unterschiedlicher Wurzellängen auf: (1) die Wurzellänge korreliert mit der Kraft, welche von jedem Zahn erzeugt werden kann; (2) die Wurzeln passen sich den Kräften an, welche während des Zahndurchbruchs und während des Abschlusses des Wurzelwachstums auf sie einwirken; (3) der zeitliche Abstand des Zahndurchbruchs könnte eine Ursache für die Unterschiede in der Wurzellänge sein.

Spencer (2003) und Kupczik et al. (2009) berichten, dass die relative Wurzeloberfläche stark belasteter Zähne größer ist als die von Zähnen, die geringeren Kaukräften ausgesetzt sind. Insofern lässt die Zahnwurzelform Rückschlüsse auf die Belastung der Zähne zu (Spencer, 2003). So weist der Orang-Utan im Vergleich zu den afrikanischen Menschenaffen eine größere relative Wurzeloberfläche auf. Trotz der Unterschiede bezüglich der Anpassung an die Nahrung weisen nah verwandte Arten ähnliche Kronen-Wurzeloberflächen-Relationen auf. Dies ist ein Hinweis auf einen starken phylogenetischen Einfluss (Kupczik et al., 2009).

2.4. Sinus maxillaris

Der Sinus maxillaris stellt die phylogenetisch älteste Nasennebenhöhle der Säugetiere dar (Suenaga, 1980). Er ist paarig angelegt und befindet sich seitlich der Nasenhaupthöhle in der Maxilla. Die Frage nach der Funktion der Nasennebenhöhlen wurde oft untersucht und diskutiert (Weidenreich, 1924; Negus, 1958; Rhys Evans, 1992; Lundberg et al., 1995). Die zahlreichen Theorien über die Funktion des Sinus maxillaris lassen sich in physiologische und biomechanische Funktionen einteilen (Blaney, 1990).

Die Relation zwischen den Zähnen und der Kieferhöhle stand in mehreren Arbeiten im Mittelpunkt des Interesses. So untersuchten Eberhardt et al. (1992) die Knochenstrukturen im Bereich der Zahnwurzeln beim Menschen mittels Computertomographie. Es besteht eine umgekehrte Proportionalität zwischen der

bukkolingualen Knochendicke und der Knochendicke über den Zahnwurzelspitzen. Daraus folgt, dass je näher die Zahnwurzelspitzen dem Sinusboden sind, desto dicker sind die seitlichen Knochenstrukturen. Die bukkale Wurzelspitze des ersten Oberkieferprämolars weist im Gegensatz dazu die kleinste laterale Knochendicke sowie den größten Abstand zum Sinusboden auf. Bei 5% der untersuchten Schädel ragen die Wurzeln in das Lumen des Sinus maxillaris.

Kwak et al. (2004) stellten bei Studien an koreanischen Schädeln mittels Computertomographie ebenfalls fest, dass der kürzeste Abstand zwischen dem Boden des Sinus maxillaris und der Zahnwurzelspitze im Bereich des zweiten Molars ist. Der längste Abstand wurde im Bereich des ersten Prämolars gemessen. Im Gegensatz dazu ist die Kortikalis des Sinusbodens im Bereich des ersten Prämolars am dünnsten und am dicksten im Bereich des zweiten Molars.

Georgescu et al. (2012) beschäftigten sich ebenfalls mit der Knochendicke zwischen den Zahnwurzelspitzen der Prämolaren und Molaren sowie dem Boden des Sinus maxillaris beim Menschen. Sie bestätigten, dass der erste und zweite Molar den geringsten Abstand zum Sinusboden und der erste Prämolare den größten Abstand aufweisen. Des Weiteren zeigten sie, dass die Dichte des Knochens vom ersten Prämolaren bis zum zweiten Molaren ansteigt. Sharan and Madjar (2006) stellten anhand von CT-Untersuchungen fest, dass die Wurzeln der ersten und zweiten Molaren am weitesten in die Kieferhöhle hineinragen.

Begun and Güleç (1998) nutzten unter anderem die Ausdehnung der Kieferhöhle in einem einzelnen Gesichtsfragment von *Ankarapithecus meteai* um dieses Fossil aus phylogentischer Sicht einordnen zu können. Es zeigte sich, dass der Sinus maxillaris in Relation zum Eckzahn weiter posterior gelegen ist als bei den heute lebenden Großen Menschenaffen. Des Weiteren ist bei *Sivapithecus* und *Pongo* die Ausdehnung des Sinus maxillaris im Processus zygomaticus der Maxilla nach oben verdrängt, ähnlich der Pneumatisierung bei *Dryopithecus* und afrikanischen Affen.

2.5. Diagnostische Möglichkeiten zur Untersuchung der Zahnwurzeln

Obwohl der Nutzen von intraoralen Einzelaufnahmen für die klinische Diagnostik unbestritten ist (Pasler, 2008), kommen stattdessen in vergleichenden Studien häufiger Orthopantomographie, Computertomographie und Digitale Volumentomographie zum Einsatz.

Sharan and Madjar (2006) untersuchten die Vergleichbarkeit von Orthopantomogramm und Computertomogramm in Bezug auf die Lagebeziehung zwischen Molarenwurzeln und dem Boden der Kieferhöhle. Bei Wurzeln, welche nicht den Sinusboden berühren beziehungsweise den Sinusboden berühren jedoch nicht in diesen hineinragen, besteht eine große diagnostische Übereinstimmung von 86% bis 96% zwischen Orthopantomogramm und computertomographischen Aufnahmen. Dahingegen werden nur 39% der in den Sinus projizierenden Wurzeln des Orthopantomogramms durch das Computertomogramm bestätigt.

Im Orthopantomogramm ergibt sich bedingt durch die Aufnahmetechnik eine 2,1-fache Vergrößerung der in den Sinus projizierenden Wurzeln (Sharan and Madjar, 2006). Des Weiteren erscheinen im Orthopantomogramm durch Überlagerung auch die Wurzeln im Sinus, welche eigentlich nur seitlich an diesem angrenzen. Im Gegensatz dazu ist mittels Computertomographie die genaue Lagebeziehung zwischen Zahnwurzeln und Sinusboden diagnostizierbar (Sharan and Madjar, 2006).

Wie die Computertomographie ermöglicht die Digitale Volumentomographie eine räumliche Zuordnung anatomischer Strukturen (Süßenbach, 2013) und somit eine sehr genaue präoperative Diagnostik und Planung sowie Nachkontrollen. Mit Hilfe des Digitalen Volumentomogramms können aufgrund der Auflösung feine anatomische Strukturen wie Wurzelkanäle, Parodontalspalte und das Foramen linguale dargestellt werden (Kopp, 2011). Weitere bedeutende Vorteile im Vergleich zum Computertomogramm stellen die geringere Strahlenbelastung und das Minimum an Artefakten durch röntgendichte Strukturen – wie beispielsweise Metalle – dar (Kopp, 2011). Das Verfahren hat jedoch auch seine Grenzen. So ist eine Differenzierung von Weichgeweben mittels der Aufnahmen nicht möglich. Auf

dem Gebiet der Weichgewebsdiagnostik gehört das MRT nach wie vor zum Goldstandard (Spitzer und Müller-Richter, 2007).

3. Material und Methoden

3.1. Material

Für die Untersuchungen standen 26 adulte Schädel der Gattung *Pongo pygmaeus* (Orang-Utan), *Gorilla gorilla* (Gorilla) und *Pan troglodytes* (Schimpanse) sowie 13 infantile und juvenile Schädel der Gattung Orang-Utan zur Verfügung (Tab. 1, 2). Sie entstammen der vergleichend anatomischen Sammlung des Instituts für Anatomie und Zellbiologie der Universitätsmedizin Greifswald. Das genaue biologische Alter der Tiere war unbekannt. Die Schädel der juvenilen Orang-Utans wurden anhand des Zahnstatus in drei Altersgruppen eingeteilt (Tab. 2).

Tab. 1: Aufschlüsselung des Schädelmaterials der adulten Primaten.

Gattung	männlich	weiblich	unbekannt
<i>Pongo pygmaeus</i>	5	3	3
<i>Gorilla gorilla</i>	6	2	0
<i>Pan troglodytes</i>	0	7	0
Gesamtschädelzahl	11	12	3

Tab. 2: Einteilung des Schädelmaterials der juvenilen Orang-Utans nach dem Stand des Zahndurchbruchs.

Altersgruppe (AG)	Definition	Anzahl
AG1	von der Geburt bis zum Erscheinen des ersten permanenten Molars	4
AG2	erster permanenter Molar im Durchbruch bzw. vollständig durchgebrochen	7
AG3	zweiter permanenter Molar im Durchbruch	2
Gesamtschädelzahl		13

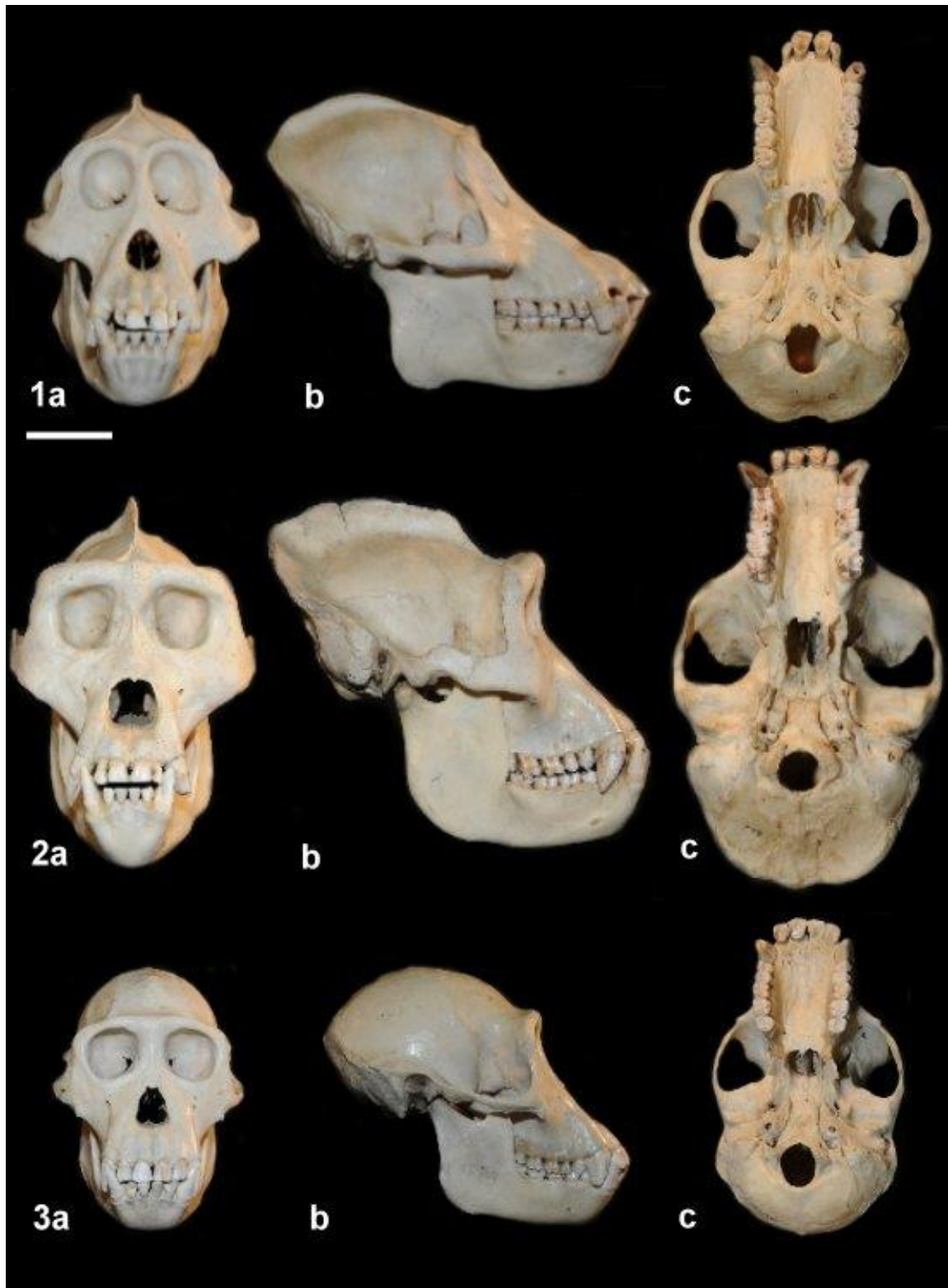


Abb. 9: Schädel adulter Orang-Utans (1), Gorillas (2) und Schimpansen (3) von anterior (a), lateral (b) und basal (c) aus der Sammlung des Instituts für Anatomie und Zellbiologie der Universitätsmedizin Greifswald. Balkenlänge: 5 cm (Foto: Manuela Janke, Greifswald).



Abb. 10: Schädel eines juvenilen Orang-Utans der Altersgruppe 3 von anterior (a), lateral (b) und basal (c) aus der Sammlung des Instituts für Anatomie und Zellbiologie der Universitätsmedizin Greifswald. Balkenlänge: 1 cm (Foto: Manuela Janke, Greifswald).

3.2. Methoden

3.2.1. Metrische Untersuchung der Schädel

Alle Schädel wurden mit einem digitalen Messschieber (Mitutoyo Corporation, Kawasaki, Japan) vermessen. Mit Hilfe des Instruments wurden definierte Längen-, Breiten-, und Höhenmaße der einzelnen Schädel erhoben. Sie dienen der späteren Korrelationsanalyse mit den digital erhobenen Daten, zu welchen das Volumen der Zahnkeime der juvenilen Orang-Utans sowie die Wurzellänge der Oberkiefermolaren und die Knochendicke zwischen dem Sinus maxillaris und den Wurzelspitzen der Gattungen *Pongo*, *Gorilla* und *Pan* gehören. Die für die metrische Erhebung der Schädelmaße verwendeten Messpunkte werden in den Abbildungen 11 bis 13 dargestellt. Die Definition der Messpunkte wurde in Klammern gesetzt.

Längenmaße am Schädel

SL	Gesamtschädellänge	(Prosthion - Opisthiocranion)
SBL	Schädelbasislänge	(Nasion - Basion)
GSL	Gesichtsschädellänge	(Basion - Prosthion)
GL	Gaumenlänge	(Orale - Staphylion)
MAL	Maxilloalveolarlänge	(Prosthion - Alveolon)

Breitenmaße am Schädel

MGB	Mittelgesichtsbreite	(Zygomaxillare - Zygomaxillare)
MAB	Maxilloalveolarbreite	(Ektomolare - Ektomolare)
GB	Gaumenbreite	(Endomolare - Endomolare)
IOB	Interorbitalbreite	(Maxillofrontale - Maxillofrontale)

Höhenmaße am Schädel

OGH	Obergesichtshöhe	(Nasion - Prosthion)
EHR	Eckzahnhöhe rechts	(Limbus alveolaris - Eckzahnspitze 13)
EHL	Eckzahnhöhe links	(Limbus alveolaris - Eckzahnspitze 23)

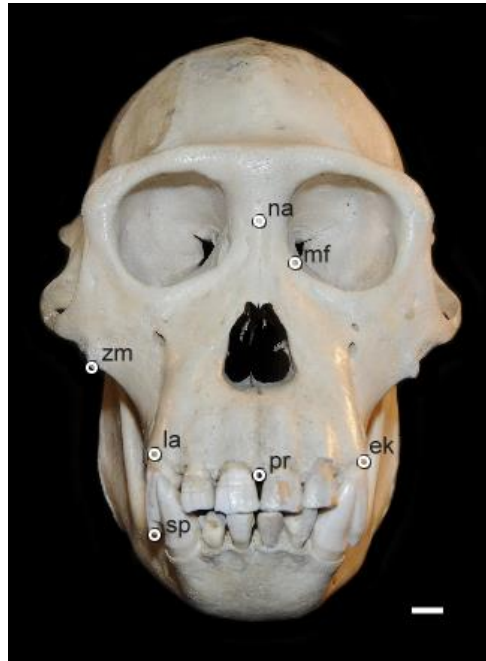


Abb. 11: Schädel eines weiblichen adulten Schimpansen (*Pan troglodytes*) in der Norma frontalis mit Darstellung der definierten Messpunkte am Schädel: na - Nasion, mf - Maxillofrontale, zm - Zygomaxillare, la - Limbus alveolaris, sp - Spitze des Eckzahns, pr – Prosthion, ek - Ektomolare. Balkenlänge = 1 cm (Foto: Manuela Janke, Greifswald).

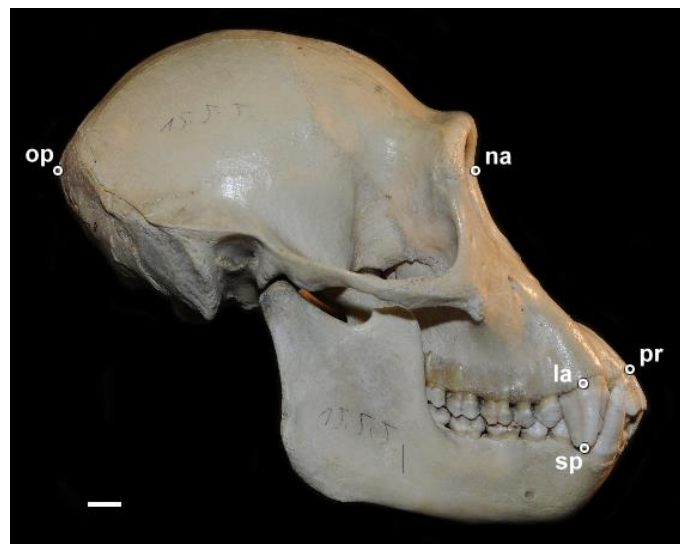


Abb. 12: Schädel eines weiblichen adulten Schimpansen (*Pan troglodytes*) in der Norma lateralis mit Darstellung der definierten Messpunkte am Schädel: op - Opisthiocranium, na - Nasion, pr - Prosthion, la - Limbus alveolaris, sp - Spitze des Eckzahns. Balkenlänge = 1 cm (Foto: Manuela Janke, Greifswald).

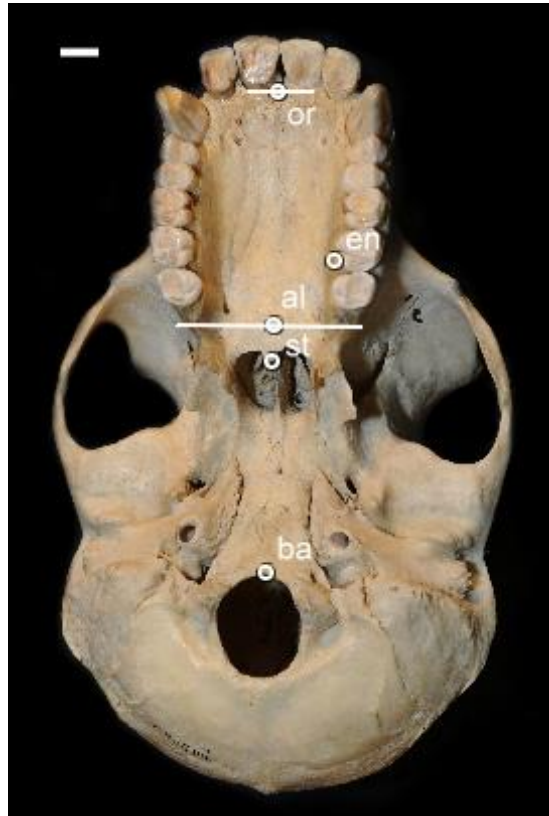


Abb. 13: Schädel eines weiblichen adulten Schimpansen (*Pan troglodytes*) in der Norma basilaris mit Darstellung der definierten Messpunkte am Schädel: or - Orale, al - Alveolon, st - Staphylion, ba – Basion, en - Endomolare. Balkenlänge = 1 cm (Foto: Manuela Janke, Greifswald).

3.2.2. Untersuchungen mit der Digitalen Volumentomographie

Zur Datenerhebung innerer Schädelparameter wurden alle Schädel mit Hilfe eines Digitalen Volumentomographen NewTom 3G (NewTom Deutschland AG, Marburg) der Klinik für Mund- Kiefer- Gesichtschirurgie/ Plastische Operationen der Universitätsmedizin Greifswald untersucht.

Die Schädel wurden zunächst im Gerät fixiert (Abb. 14). Der Digitale Volumentomograph wurde mit einer Dosis von 0,57 mGy bei 110 kV und 0,5 mA betrieben. Die Daten wurden mit einem Aufnahmefeld von 200 mm erhoben. Der Rohdatensatz wurde automatisch in einen Volumendatensatz überführt, welcher daraufhin mit dem Programm NewTom 3G (QR NNT Version 2.11 Professional) zur weiteren Bildbearbeitung zur Verfügung stand.



Abb. 14: Schädel eines adulten männlichen Gorillas im Digitalen Volumentomographen NewTom 3G (NewTom Deutschland AG, Marburg) der Universitätsmedizin Greifswald.

Volumetrische Darstellung von Zähnen

Die Volumina der Milchzähne sowie der Keime der permanenten Zähne von juvenilen Orang-Utans wurde ermittelt, um diese isoliert von den Schädelstrukturen darstellen zu können. Zur Vermessung der Volumina der Zahnkeime der juvenilen Schädel wurde der Volumendatensatz exportiert und im DICOM-Format abgespeichert. Dann wurden von den Daten im Programm DicomWorks v1.3.5 (inviweb, Frankreich) sekundär horizontale Schnitte mit einer Schichtdicken von 0,4 mm angefertigt. Anschließend wurden diese als Dateiformat JPEG exportiert. Alle weiteren Untersuchungen erfolgten anhand der JPEG Dateien. Zur Erhebung der Volumina der Zähne wurden mit Hilfe des Programms WinSurf 4-1-0 (SURFdriver Software Company) dreidimensionale Rekonstruktionen erstellt. Dabei wurden die einzelnen Flächen der betreffenden Zahnkeime und Zähne in den Schichtserien umfahren und als 3D-Datensatz abgespeichert, aus dem programmintern die entsprechenden Volumina errechnet wurden.

Lineare Messungen an den Zahnwurzeln

Die DVT-Datensätze der adulten Primatenschädel wurden zur Ausmessung der Wurzellängen und der Knochendicke zwischen dem Boden des Sinus maxillaris und den Wurzelspitzen der Oberkieferseitenzähne genutzt. Desweiteren wurde bestimmt, wie weit die Wurzelspitzen der Oberkieferseitenzähne in den Sinus

maxillaris ragen. Für diese Vermessungen wurde die Okklusionsebene als Bezugsebene festgelegt.

Zur Ermittlung der Wurzellänge der Prämolaren und Molaren des Oberkiefers wurden mit Hilfe der Messtools der NNT Software senkrecht zur Okklusionsebene sekundäre Schnitte durch jeden einzelnen Zahn erstellt. Diese Schnitte wurden sowohl in der Frontal- als auch in der Sagittalebene durchgeführt. In jedem dieser Schnitte wurde nun die Distanz zwischen der optisch erkennbaren Einziehung zwischen Zahnwurzel und -krone und der Zahnwurzelspitze gemessen. Für die Zahnwurzelspitze befand sich der Messpunkt an der Grenze zwischen der Wurzelspitze und den Beginn des Parodontalspaltes, das heißt am röntgenologischen Apex. Aus der Gesamtheit der frontalen und sagittalen Schnitte wurde jeweils der höchste Messwert für jede Zahnwurzel herangezogen. Einen Einblick über die Vermessung der Zahnwurzellänge bietet die Abbildung 15.

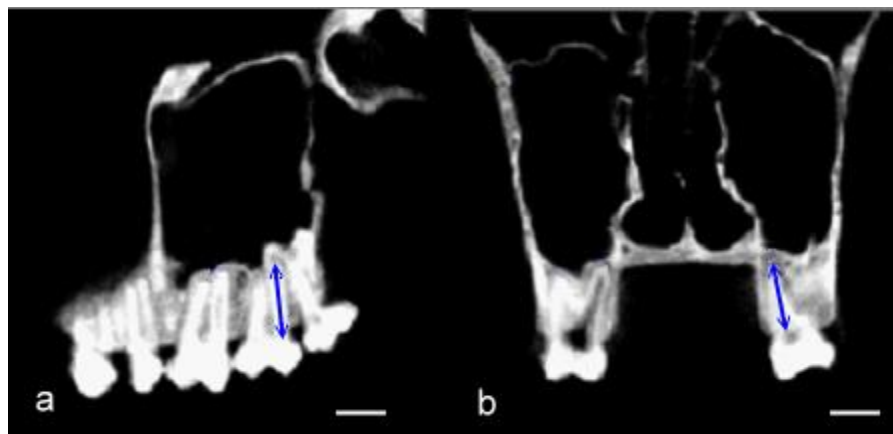


Abb. 15: DVT-Schichtaufnahmen des Schädels eines adulten weiblichen Gorillas (*Gorilla gorilla*). (a) Sagittalschnitt im Bereich des 2. Quadranten. (b) Frontalschnitt durch die zweiten Molaren des Oberkiefers. Der Pfeil kennzeichnet die Messstrecke zur Bestimmung der Zahnwurzellänge. Balkenlänge: 1 cm.

Für die Vermessung der Knochendicke zwischen den Zahnwurzelspitzen und dem Boden des Sinus maxillaris wurden in gleicher Weise sekundäre Schnitte angefertigt und der Abstand zwischen der Zahnwurzelspitze und dem Kieferhöhlenboden gemessen (Abb. 16). Für die Auswertung wurde jeweils der kleinste Messwert aus allen frontalen und sagittalen Sektorschnitten über einer jeden Zahnwurzelspitze herangezogen.

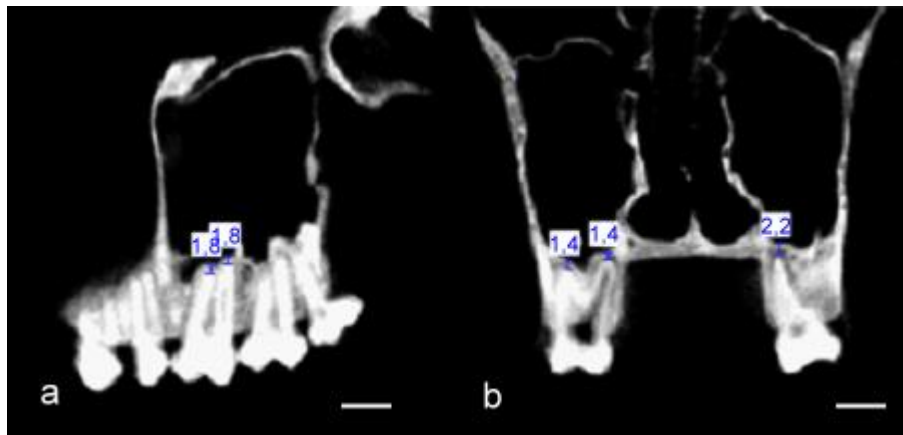


Abb. 16: DVT-Schichtaufnahmen des Schädels eines adulten weiblichen Gorillas (*Gorilla gorilla*). (a) Sagittalschnitt im Bereich des 2. Quadranten. Die Knochendicken über der mesialen und distalen Wurzel des ersten Molars betragen in diesem Beispiel jeweils 1,8 mm. (b) Frontalschnitt durch die zweiten Molaren des Oberkiefers. Die Knochendicke über dem Zahn 17 beträgt palatinal sowie distal 1,4 mm und über der palatinalen Wurzelspitze des Zahns 27 2,2 mm. Balkenlänge: 1 cm.

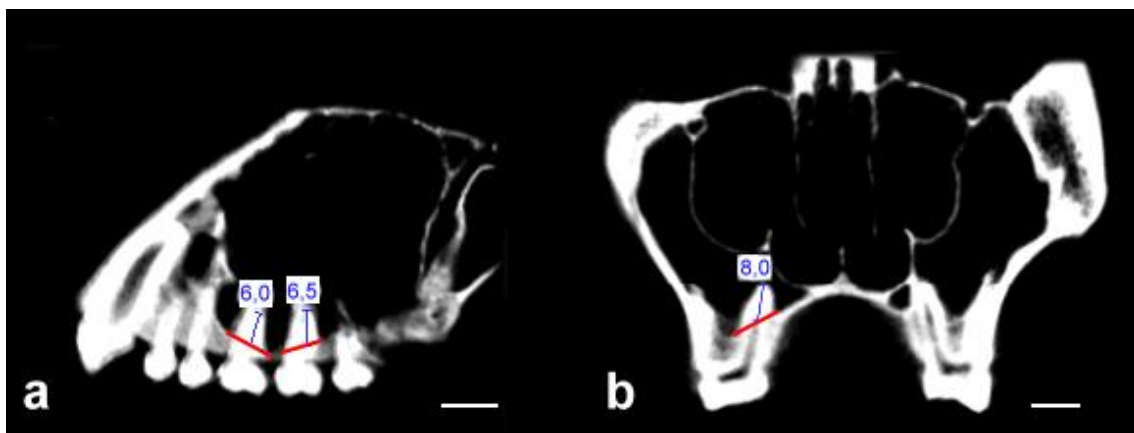


Abb. 17: DVT-Schichtaufnahmen des Schädels eines adulten weiblichen Gorillas (*Gorilla gorilla*) zur Darstellung der Vermessung der Bereiche der palatinalen Wurzeln (blaue Linien), welche in die Kieferhöhle ragen. (a) Sagittalschnitt im Bereich des 1. Quadranten und (b) Frontalschnitt in Höhe der ersten Molaren. Die roten Linien kennzeichnen den Boden des Sinus maxillaris im Bereich der betreffenden Zahnwurzel. Balkenlänge: 1 cm.

Einige Zahnwurzeln der untersuchten Molaren ragen in den Sinus maxillaris. Um zu ermitteln wie weit die Wurzeln in den Sinus maxillaris ragen, wurde virtuell eine

Ebene für den Sinusboden im Bereich der Molaren erstellt (rote Linie in Abb. 17), indem die Knochenstruktur mesial und distal des Zahns gradlinig verbunden wurde. Im Anschluss wurde die Distanz zwischen der virtuellen Ebene und der Zahnwurzelspitze entsprechend der Wurzelachse bestimmt. Wie in Abbildung 17 dargestellt, erfolgte die Messung nicht senkrecht zum Sinusboden, sondern entlang des Wurzelverlaufs.

3.2.3. Statistische Auswertung

Von allen erhobenen Daten wurden zunächst Mittelwerte und die Standardabweichungen berechnet. Aufgrund der geringen Anzahl von Objekten wurde auf Tests zur Überprüfung der Normalverteilung verzichtet.

Da bei den Variablen keine Normalverteilung vorausgesetzt werden konnte, wurden in den weiteren statistischen Untersuchungen nur nicht parametrische Tests angewendet. Diese weisen eine Effizienz von 95% der äquivalenten parametrischen Tests auf (Bühl und Zöfel, 2000). Demzufolge wurde der innerartliche Seitenvergleich zwischen dem 1. und 2. Quadranten mit Hilfe des Wilcoxon-Tests durchgeführt (Bühl und Zöfel, 2000). Die graphische Darstellung erfolgte mit Hilfe von Boxplots.

Der Vergleich zwischen den drei Arten *Pongo pygmaeus*, *Gorilla gorilla* und *Pan troglodytes* erfolgte durch den H-Test nach Kruskal und Wallis (Bühl und Zöfel, 2000).

Im Anschluss wurden die erhobenen Daten jeder Art mit der Korrelationsanalyse nach Spearman untereinander in Beziehung gesetzt. Bestand eine Korrelation zwischen zwei Variablen wurde diese mit einem Streu-Punkt-Diagramm graphisch dargestellt. Zur Untersuchung der Zusammenhänge zwischen den Variablen wurde der Rangkorrelationskoeffizient nach Spearman berechnet.

In der vorliegenden Arbeit wird eine Irrtumswahrscheinlichkeit von $p < 0,05$ zugrunde gelegt. Die Analysen wurden mit dem Statistikprogramm SPSS 18.0 (SPSS Inc., Chicago, USA) durchgeführt.

4. Ergebnisse

4.1. Äußere Schädelmaße

Die Mittelwerte und Standardabweichungen der erhobenen Schädelmaße der Gattungen *Pongo*, *Gorilla* und *Pan* werden in Tabelle 3 dargestellt. Aufgrund der geringen Anzahl an Objekten wurden die männlichen und weiblichen Vertreter jeder Gattung zusammengefasst. Eine Übersicht aller gemessenen Einzelwerte des Schädels befindet sich im Anhang in der Tabelle I. Vereinzelt konnten Schädelmaße nicht erhoben werden, weil die dafür notwendigen knöchernen Strukturen nicht vollständig erhalten waren.

Tab. 3: Mittelwerte und Standardabweichungen äußerer Schädelmaße der adulten Schädel von *Pongo pygmaeus*, *Gorilla gorilla* und *Pan troglodytes*. Angaben in cm.

	<i>Pongo pygmaeus</i>			<i>Gorilla gorilla</i>			<i>Pan troglodytes</i>		
	n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD
SL	8	20,98	1,64	8	27,15	3,34	7	18,25	1,14
GSL	11	15,78	2,03	7	18,64	2,61	7	12,63	0,76
SBL	11	10,27	0,54	7	13,15	1,55	7	9,56	0,74
GL	11	8,34	0,73	8	9,96	1,61	7	6,67	0,56
MAL	11	8,88	0,81	8	10,17	1,51	7	6,92	0,54
MGB	11	11,23	1,10	8	12,21	1,46	7	8,64	0,56
MAB	11	6,74	0,43	8	7,44	0,89	7	5,65	0,44
GB	11	3,83	0,33	8	4,07	0,53	7	3,46	0,21
OGH	11	9,54	1,35	8	10,77	1,28	7	7,86	1,01
EHR	6	2,65	0,59	7	2,71	0,93	6	1,73	0,38
EHL	9	2,34	0,40	3	2,66	0,88	5	1,88	0,51
IOB	11	1,27	0,22	8	2,93	0,59	7	1,97	0,27

n: Anzahl; \bar{x} : Mittelwert; SD: Standardabweichung; SL: Gesamtschädellänge; GSL: Gesichtsschädellänge; SBL: Schädelbasislänge; GL: Gaumenlänge; MAL: Maxilloalveolarlänge; MGB: Mittelgesichtsbreite; MAB: Maxilloalveolarbreite; GB: Gaumenbreite; OGH: Obergesichtshöhe; EHR: Eckzahnhöhe rechts; EHL: Eckzahnhöhe links; IOB: Interorbitalbreite

Erwartungsgemäß sind die absoluten Schädelmaße des Gorillas größer als die des Orang-Utans. Der Schimpanse weist die kleinsten Schädelmaße auf. Die erheblichen Differenzen in der Standardabweichung, welche die Abweichung einzelner Werte vom Mittelwert wiedergibt, können aus der großen Varianz der Messwerte entstehen, welche aus dem Geschlechtsdimorphismus resultiert. So sehen wir die größten Schwankungen bei den Messwerten des Gorillas und die kleinsten beim Schimpansen.

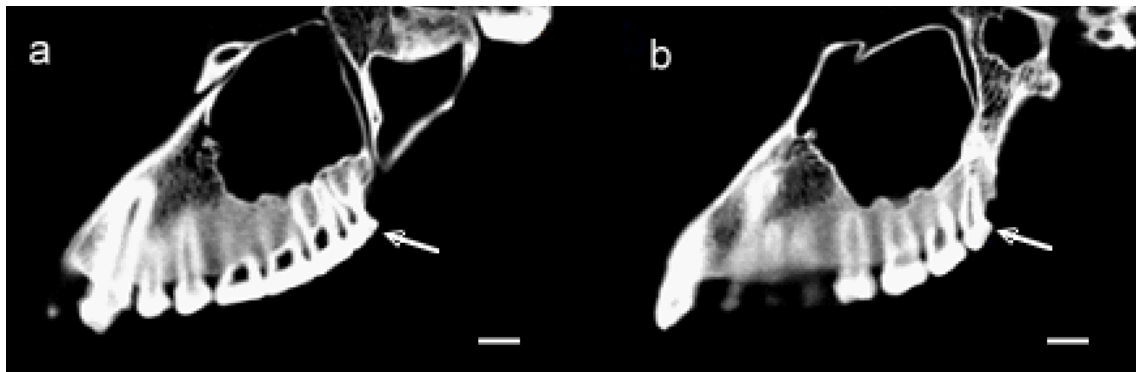


Abb. 18: DVT-Schichtaufnahmen der linken Oberkieferregion eines adulten weiblichen Orang-Utans (*Pongo pygmaeus*) in der Sagittalebene. Die Pfeile markieren M4 (Zahn 29): (a) vestibuläre Wurzeln und (b) palatinale Wurzel. Balkenlänge: 1 cm.

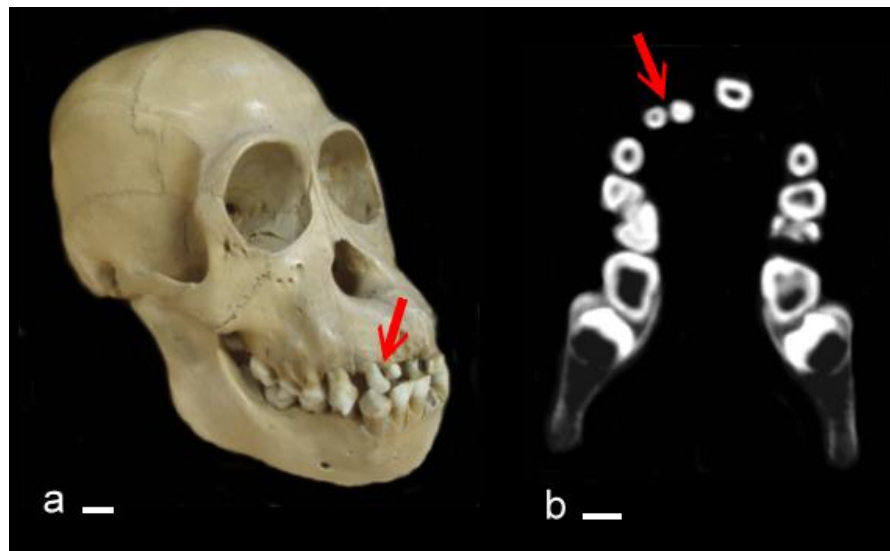


Abb. 19: Doppelanlage des Milchzahns 52 (durch roten Pfeil markiert) eines juvenilen Orang-Utans. (a) Schädel von frontolateral, (b) DVT-Schichtaufnahme in der Transversalebene in Höhe der Milchzahnkrone. Balkenlänge: 1 cm (Schädelfoto: Manuela Janke, Greifswald).

Zwei der untersuchten Schädel wiesen einen überzähligen vierten Molar auf. Es handelt sich hierbei um den Schädel eines Orang-Utan Weibchens (Abb. 18 und 39) sowie um den Schädel eines männlichen Gorillas.

Der Vergleich der Schädelmaße in den verschiedenen Altersgruppen der juvenilen Schädel von *Pongo pygmaeus* erfolgt in Tabelle 4. Eine Übersicht der gemessenen Einzelwerte der juvenilen Orang-Utan Schädel befindet sich im Anhang in der Tabelle II. Der Schädel eines juvenilen Orang-Utans wies eine Doppelanlage des Zahns 52 auf (Abb. 19).

Tab. 4: Mittelwerte und Standardabweichungen äußerer Schädelmaße in den verschiedenen Altersgruppen der juvenilen Schädel von *Pongo pygmaeus*. Angaben in cm.

	AG 1			AG 2			AG 3		
	n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD
SL	4	13,16	0,23	7	15,31	0,85	2	15,73	0,48
GSL	4	7,97	0,68	7	9,69	0,57	2	10,44	0,49
SBL	4	6,83	0,46	7	7,48	0,64	2	7,58	0,16
GL	4	3,88	0,23	7	4,97	0,43	2	5,24	0,57
MAL	4	4,54	0,17	7	5,40	0,34	2	6,10	0,13
MGB	4	6,49	0,17	7	7,37	0,44	2	8,00	0,22
MAB	4	4,35	0,09	7	4,98	0,28	2	5,21	0,11
GB	4	2,40	0,07	7	2,72	0,17	2	2,91	0,11
OGH	4	4,66	0,21	7	5,80	0,37	2	5,96	0,01
EHR	4	1,12	0,06	6	1,21	0,24	1	0,98	
EHL	3	1,08	0,07	6	1,16	0,16	1	1,41	
IOB	4	0,40	0,08	7	0,68	0,25	2	0,72	0,22

n: Anzahl; \bar{x} : Mittelwert; SD: Standardabweichung; AG: Altersgruppe; SL: Gesamtschädellänge; GSL: Gesichtsschädellänge; SBL: Schädelbasislänge; GL: Gaumenlänge; MAL: Maxilloalveolarlänge; MGB: Mittelgesichtsbreite; MAB: Maxilloalveolarbreite; GB: Gaumenbreite; OGH: Obergesichtshöhe; EHR: Eckzahnhöhe rechts; EHL: Eckzahnhöhe links; IOB: Interorbitalbreite

4.2. Entwicklung der permanenten Zahnkeime beim Orang-Utan

Nachdem die Volumina der Milchzähne sowie der Keime der permanenten Zähne bestimmt wurden, konnten diese isoliert von den Schädelstrukturen der juvenilen Orang-Utans dargestellt werden. Somit wurden die Lage und der Entwicklungsstand der permanenten Zähne zu unterschiedlichen Zeitpunkten der Odontogenese virtuell darstellbar. In den folgenden Tabellen sind die Mittelwerte sowie die Standardabweichungen der Volumina der Milchzähne (Tab. 5) sowie der Zahnkeime der permanenten Zähne (Tab. 6) ersichtlich. Eine Übersicht aller ermittelten Volumina geht aus den Tabellen III und IV im Anhang hervor.

Tab. 5: Mittelwerte und Standardabweichungen der Volumina der Milchzähne in den verschiedenen Altersgruppen der juvenilen Schädel von *Pongo pygmaeus*. Angaben in cm³.

Zahn	AG 1			AG 2			AG 3		
	n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD
55	4	0,72	0,15	7	0,70	0,39	2	0,65	0,05
54	4	0,52	0,11	7	0,53	0,15	2	0,73	0,35
53	4	0,63	0,08	6	0,58	0,17			
52	3	0,30	0,07	6	0,23	0,07	1	0,22	
51	4	0,65	0,20	5	0,50	0,16	1	0,33	
61	4	0,66	0,19	6	0,48	0,14	1	0,41	
62	3	0,29	0,05	3	0,23	0,04	1	0,24	
63	3	0,62	0,08	6	0,57	0,20	1	0,65	
64	4	0,40	0,30	7	0,52	0,16	2	0,56	0,15
65	4	0,73	0,14	7	0,83	0,24	1	0,68	

n: Anzahl; \bar{x} : Mittelwert; SD: Standardabweichung; AG: Altersgruppe

Tab. 6: Mittelwerte und Standardabweichungen der Volumina der Zahnkeime der permanenten Zähne in den verschiedenen Altersgruppen der juvenilen Schädel von *Pongo pygmaeus*. Angaben in cm³.

Zahn	AG 1			AG 2			AG 3		
	n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD
18				1	0,18		1	0,35	
17				6	0,55	0,21	1	0,76	
16	4	0,62	0,07	7	1,18	0,36	2	1,47	0,09
15	3	0,09	0,06	7	0,39	0,15	2	0,61	0,17
14	4	0,11	0,08	7	0,35	0,13	2	0,76	0,32
13	4	0,14	0,03	7	0,37	0,18	2	0,70	0,16
12	4	0,07	0,04	7	0,26	0,11	1	0,26	
11	4	0,36	0,08	7	0,91	0,34	2	0,97	0,47
21	4	0,37	0,08	7	0,90	0,35	1	1,35	
22	3	0,07	0,02	7	0,22	0,14	1	0,32	
23	4	0,13	0,03	7	0,40	0,20	2	0,81	0,13
24	4	0,08	0,05	7	0,38	0,16	2	0,60	0,09
25	3	0,12	0,06	7	0,40	0,14	2	0,61	0,12
26	3	0,67	0,04	7	1,26	0,40	2	1,48	0,14
27	1	0,25		6	0,55	0,20	2	0,62	0,23
28				1	0,21		1	0,35	

n: Anzahl; \bar{x} : Mittelwert; SD: Standardabweichung; Altersgruppe: AG

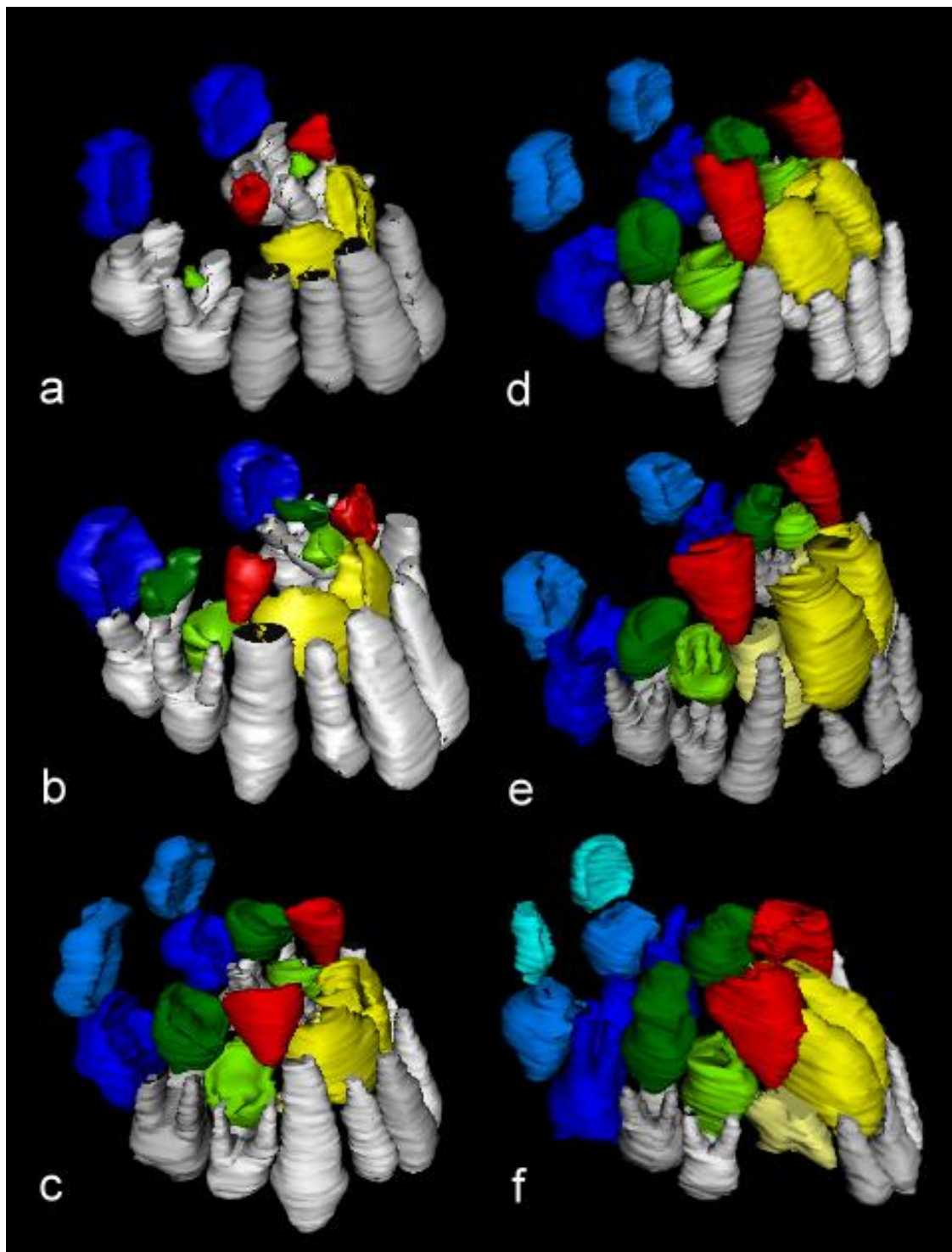


Abb. 20: 3D Rekonstruktionen von Zähnen und Zahnkeimen juveniler Orang-Utans (*Pongo pygmaeus*). (a-f) Zahnentwicklung zu unterschiedlichen Entwicklungszeitpunkten von kranio-lateral. Die Milchzähne sind grau und die Keime der permanenten Zähne farbig dargestellt: Gelb - mittlerer Inzisivus, Beige - lateraler Inzisivus, Rot - Caninus, Hellgrün - 1. Prämolare, Dunkelgrün - 2. Prämolare, Dunkelblau - 1. Molare, Hellblau - 2. Molare, Türkis - 3. Molare.

In der Altersgruppe 1, welche Tiere bis zum Durchbruch des ersten Molaren beinhaltet, entwickeln sich zunächst die Zahnanlagen der ersten Molaren und die der mittleren Inzisivi (Abb. 20a). Die Mineralisierung beginnt an den Höckerspitzen bzw. Inzisalkanten. Die spätere Okklusalfäche der Molaren weist dabei nach distal und befindet sich über dem Niveau der Milchzähne. Die Keime der Inzisivi liegen palatinal der entsprechenden Milchzähne. Zeitlich verzögert bilden sich die Zahnkeime der Canini und ersten Prämolaren aus.

Bei einem weiteren Schädel der Altersgruppe 1 ist zusätzlich die Ausbildung der Zahnkeime der zweiten Prämolaren erkennbar (Abb. 20b), welche sich wie die der ersten Prämolaren zwischen den drei Wurzeln der Milchmolaren befinden. Die Anlage der Canini befindet sich über dem Niveau der Schneidezähne und Prämolaren im Bereich des Apex des Milcheckzahns.

Bei einem weiteren Exemplar der Altersgruppe 1 konnten die Zahnanlagen der zweiten Molaren dargestellt werden (Abb. 20c). Diese befinden sich über den Zahnkeimen der ersten Molaren, welche zwischenzeitlich mit ihrer Okklusalfäche in Richtung der Gingiva rotiert sind. Die spätere Kaufläche der zweiten Molaren weist nach distal. Die Zahnkronen der ersten Molaren sind zu diesem Zeitpunkt schon fast vollständig darstellbar. Desweiteren ist eine Größenzunahme aller Zahnanlagen ersichtlich. Resorptionserscheinungen an den Wurzeln der Vorgänger können nicht beobachtet werden.

Bei den Tieren der Altersgruppe 2 befinden sich die ersten Molaren im Durchbruch bzw. sind bereits vollständig durchgebrochen. Bei einem Schädel dieser Altersgruppe (Abb. 20d) befinden sich die Kronen der beiden ersten Molaren direkt hinter der Zahnkrone der zweiten Milchmolaren, haben die Okklusionsebene jedoch noch nicht erreicht. Die Wurzeln der ersten Molaren sind zu einem Drittel erkennbar. Die Zahnkronen der zweiten Molaren sind weiter rotiert. Bei einem weiteren Schädel dieser Altersgruppe (Abb. 20e) haben die ersten Molaren bereits die Okklusionsebene erreicht, die Zahnwurzeln sind jedoch noch nicht vollständig mineralisiert. Zusätzlich ist das obere Wurzeldrittel der permanenten Schneidezahnkeime erkennbar.

Schädel bei denen sich die zweiten Molaren im Durchbruch befinden, werden der Altersgruppe 3 zugeordnet. Bei diesen Tieren sind die Anlagen der dritten Molaren ersichtlich (Abb. 20f). Die Zahnkronen der dritten Molaren weisen ebenfalls nach distal und befinden sich über denen der zweiten Molaren, welche bereits weiter mit ihrer Okklusalfäche in Richtung der Gingiva rotiert sind. Die Wurzeln der ersten Molaren erscheinen vollständig. An den Milchschnidezähnen sind Resorptionserscheinungen ersichtlich. Zudem sind die Kronen der Prämolaren vollständig ausgebildet. Das Wurzelwachstum der P2 ist weiter fortgeschritten als das der P1. Die Ausbildung der Eckzahnkrone ist noch nicht abgeschlossen.

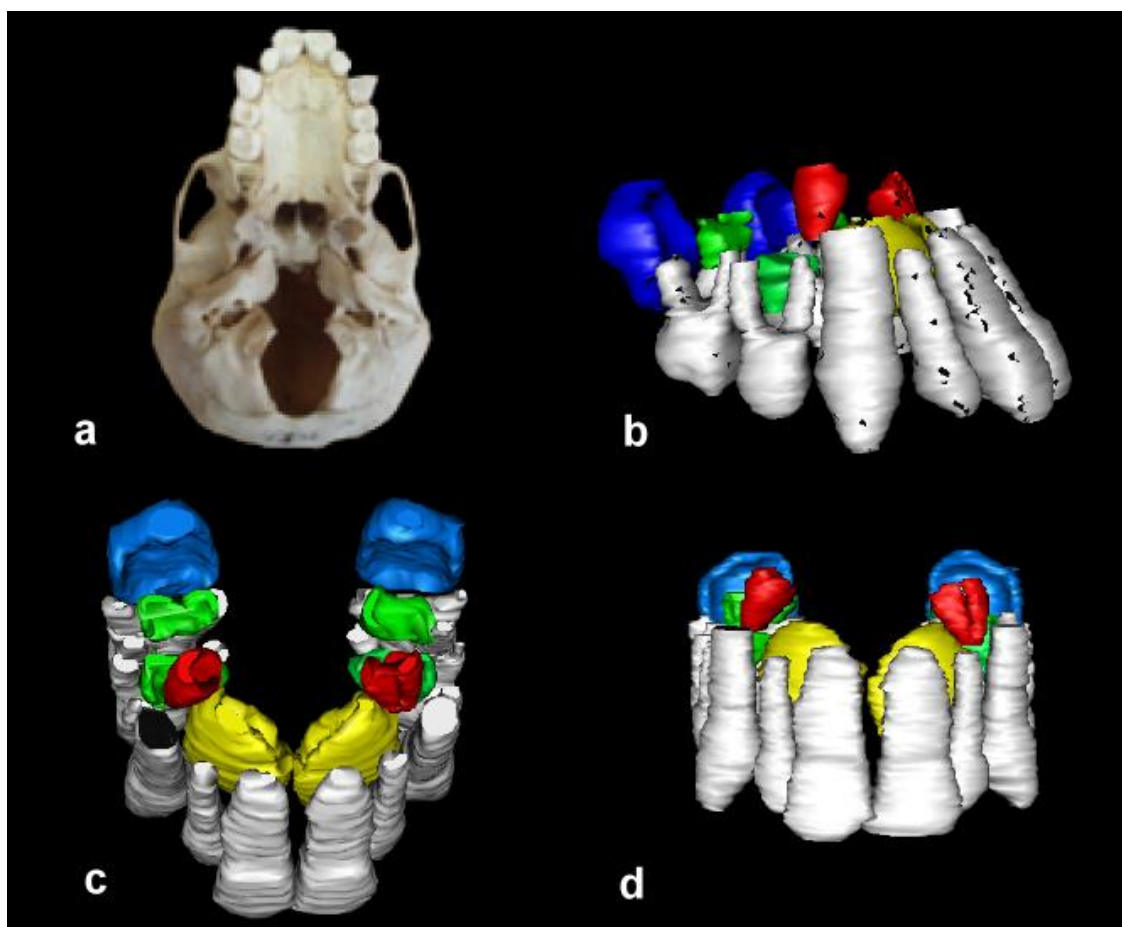


Abb. 21: Stand der Zahnentwicklung vor dem Durchbruch der ersten Molaren eines juvenilen Orang-Utans (*Pongo pygmaeus*) der Altersgruppe 1. (a) Ansicht des Schädels von basal (Foto: Manuela Janke, Greifswald). 3D Rekonstruktion der Zähne und Zahnkeime von frontolateral (b), von apikal (c) und von frontal (d). Die Milchzähne sind grau und die Keime der permanenten Zähne farbig dargestellt: Gelb - I1, Beige - I2, Rot - C, Hellgrün - P1, Dunkelgrün - P2, Dunkelblau - M1.

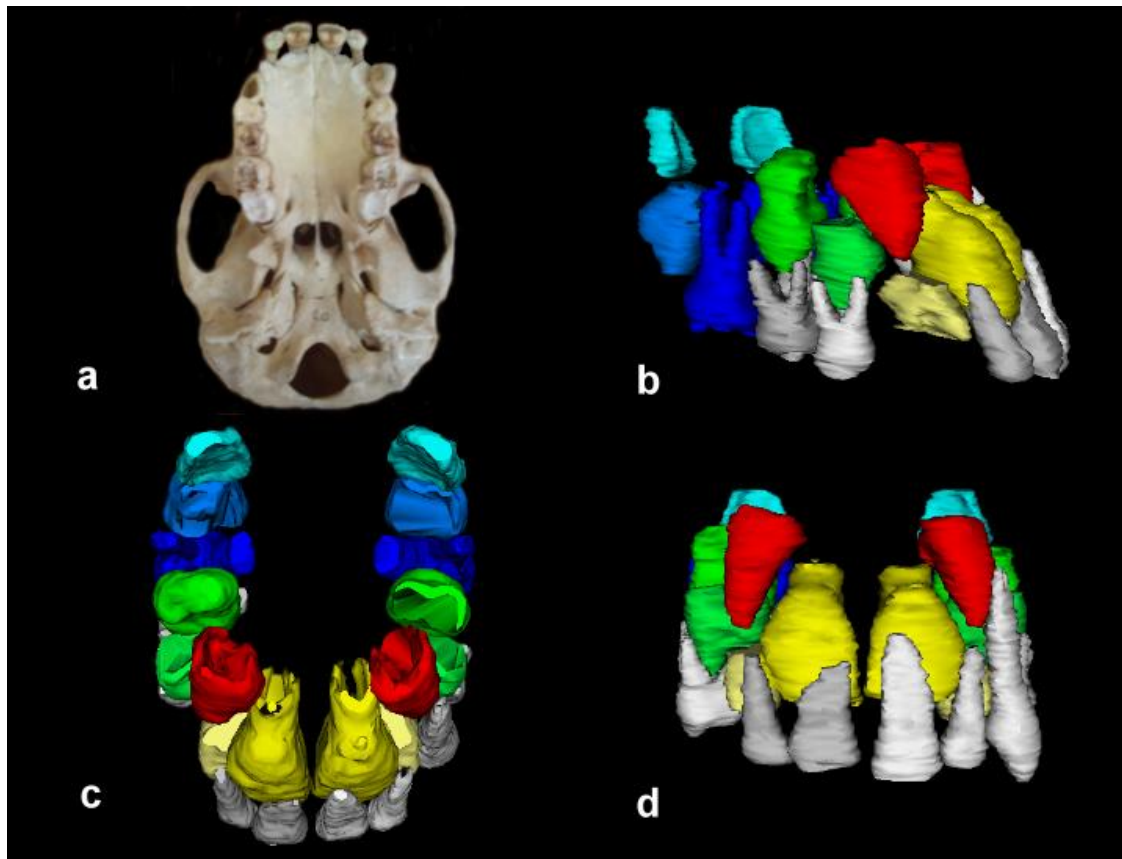


Abb. 22: Stand der Zahnentwicklung nach dem Durchbruch der ersten Molaren eines juvenilen Orang-Utans (*Pongo pygmaeus*) der Altersgruppe 2. (a) Ansicht des Schädels von basal (Foto: Manuela Janke, Greifswald). 3D Rekonstruktion der Zähne und Zahnkeime von frontolateral (b), von apikal (c) und von frontal (d). Die Milchzähne sind grau und die Keime der permanenten Zähne farbig dargestellt: Gelb - I1, Beige - I2, Rot - C, Hellgrün - P1, Dunkelgrün - P2, Dunkelblau - M1, Hellblau - M2, Türkis - M3.

Genaue Zeitangaben für die jeweiligen Entwicklungsschritte können hier nicht erfolgen, da das biologische Alter der untersuchten Primatenschädel nicht bekannt ist. Aus den Darstellungen geht jedoch hervor, dass der Zahndurchbruch der ersten Molaren zuerst erfolgt. Im Gegensatz zum Menschen erfolgt der Schneidezahndurchbruch in enger zeitlicher Relation mit dem Durchbruch des zweiten Molars erst nach einer längeren Pause. Die weiteren Entwicklungsschritte beziehungsweise Durchbruchsreihenfolge konnte mit dem uns vorliegenden Material nicht untersucht werden.

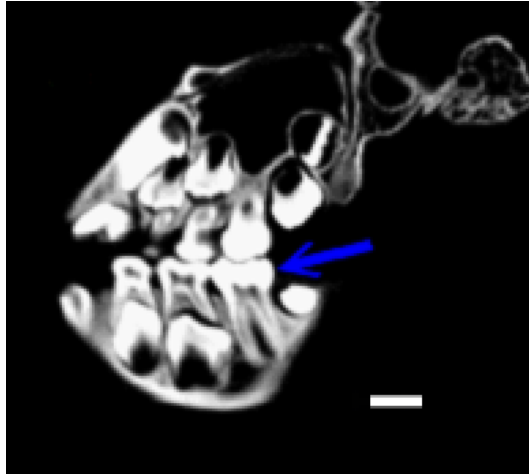


Abb. 23: DVT-Schichtaufnahme in der Sagittalebene des Schädels eines juvenilen Orang-Utans (*Pongo pygmaeus*) der Altersgruppe 2 in Höhe des 1. und 4. Quadranten. Der Pfeil weist auf den bereits durchgebrochenen permanenten Zahn 46. Balkenlänge: 1 cm.

4.3. Knochendicke des Bodens des Sinus maxillaris im Bereich der Molarenwurzeln

Bei den hier untersuchten Großen Menschenaffen reichte der Sinus maxillaris nicht immer bis in den Prämolarenbereich. Beim Orang-Utan konnten nur vereinzelte Messwerte im Bereich des zweiten Prämolars erhoben werden. Die untersuchten Gorillaschädel zeigten zu 81% eine Beziehung zwischen Sinus maxillaris und der palatinalen Zahnwurzelspitze des zweiten Prämolars. In 50% der Fälle konnten Messwerte auch über der palatinalen Zahnwurzelspitze des ersten Prämolars erhoben werden. Beim Schimpansen hingegen reichte der Sinus maxillaris nahezu immer bis in die Nähe der palatinalen Wurzeln des ersten und zweiten Prämolars. Die genaue Auflistung der Einzelwerte ist dem Anhang zu entnehmen (Tab. V-VII).

Aufgrund der unterschiedlichen Pneumatisation der Kieferhöhlen, konnte nicht bei allen Schädeln eine Beziehung zwischen dem Boden des Sinus maxillaris und den Prämolarenwurzeln hergestellt werden. Daher wird im Folgenden nur die Beziehung der Wurzeln der Oberkiefermolaren zum Sinus maxillaris berücksichtigt.

Der Rechts-Links-Vergleich der Knochendicken über den Zahnwurzelspitzen der Molaren gibt Aufschluss über mögliche Asymmetrien (Tab. VIII im Anhang). Der innerartliche Seitenvergleich beider Kieferhöhlenböden mit Hilfe des Wilcoxon

Tests ergab keine signifikanten Unterschiede der Knochendicke (Tab. IX und Abb. I-III im Anhang). Daher werden in Tabelle 7 und den nachfolgenden Abbildungen (Abb. 24-26) die Werte der rechten und linken Seite zusammengefasst.

Tab. 7: Mittelwerte und Standardabweichungen der Knochendicke des Bodens des Sinus maxillaris über den Molarenwurzeln von *Pongo pygmaeus*, *Gorilla gorilla* und *Pan troglodytes*. Die Werte der rechten und linken Seite wurden zusammengefasst. Angaben in mm.

Wurzel	<i>Pongo pygmaeus</i>			<i>Gorilla gorilla</i>			<i>Pan troglodytes</i>		
	n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD
1. Molar mesiobukkal	13	6,8	4,03	11	6,5	6,53	13	3,8	2,57
1. Molar distobukkal	14	7,2	3,22	12	6,1	6,44	14	3,0	2,18
1. Molar palatinal	17	2,7	1,96	14	2,1	1,51	10	1,8	0,77
2. Molar mesiobukkal	21	2,7	1,68	15	4,8	4,47	13	2,1	0,87
2. Molar distobukkal	21	3,5	2,41	16	3,7	3,40	13	1,7	1,58
2. Molar palatinal	22	1,5	1,58	16	2,4	1,64	10	1,5	0,38
3. Molar mesiobukkal	21	2,2	0,96	13	2,7	1,78	12	1,4	0,63
3. Molar distobukkal	20	2,6	1,47	12	2,9	2,86	13	1,8	1,78
3. Molar palatinal	21	1,5	0,68	14	2,1	0,89	12	1,2	0,54

n: Anzahl; \bar{x} : Mittelwert; SD: Standardabweichung

Die Auswertung der Messergebnisse zeigt, dass der Knochen generell über den palatinalen Wurzeln der Molaren bei den untersuchten Gattungen *Pongo*, *Gorilla* und *Pan* am dünnsten ist. Beim Orang-Utan sind die geringsten Knochendicken über den palatinalen Wurzeln der zweiten und dritten Molaren zu finden. Der Mittelwert beträgt an diesen Stellen 1,5 mm. Dem entsprechen die Knochendicken über den palatinalen Wurzeln der ersten und dritten Molaren beim Gorilla mit einem Mittelwert von 2,1 mm und über der palatinalen Wurzel der dritten Molaren beim Schimpanse mit einem Mittelwert von 1,2 mm. Generell ist der Knochen über den Zahnwurzeln des Schimpansen im Vergleich zu den anderen Gattungen am dünnsten.

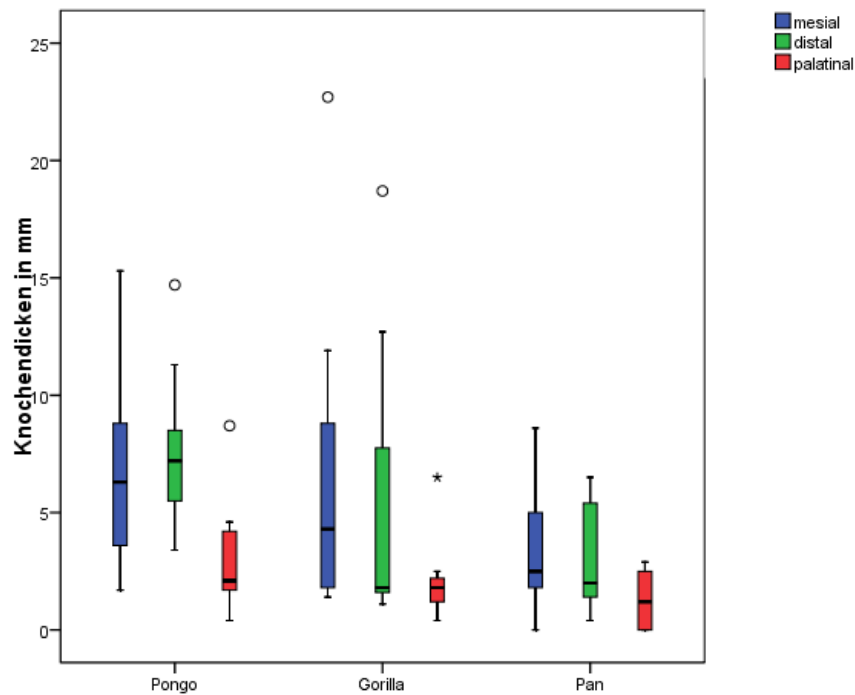


Abb. 24: Boxplots der Knochendicke zwischen dem Sinus maxillaris und den Zahnwurzelspitzen des ersten Molars bei den Gattungen *Pongo*, *Gorilla* und *Pan*. Die Werte der rechten und linken Seite wurden zusammengefasst.

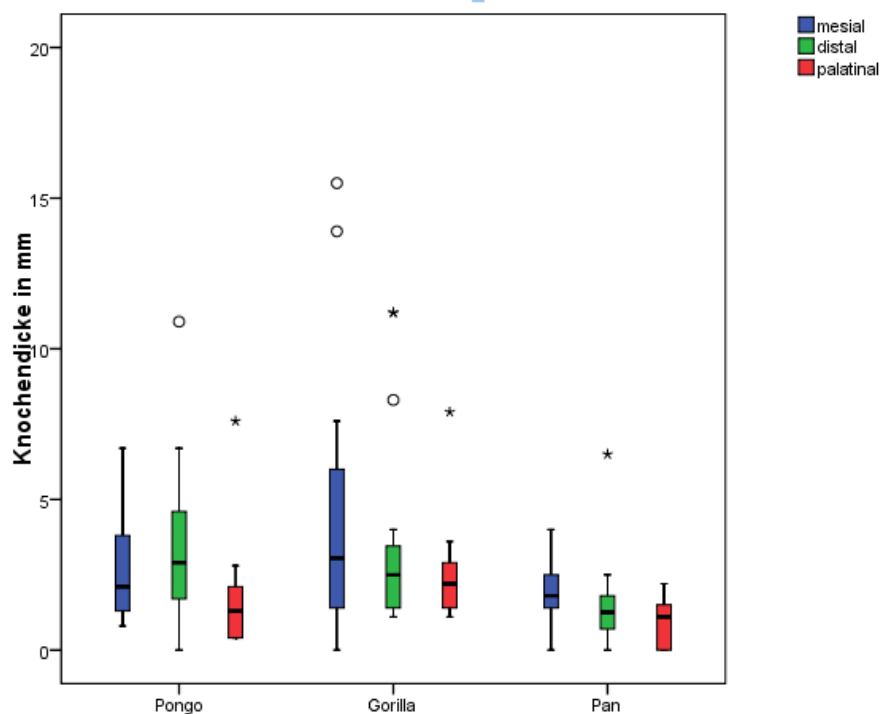


Abb. 25: Boxplots der Knochendicke zwischen dem Sinus maxillaris und den Zahnwurzelspitzen des zweiten Molars bei den Gattungen *Pongo*, *Gorilla* und *Pan*. Die Werte der rechten und linken Seite wurden zusammengefasst.

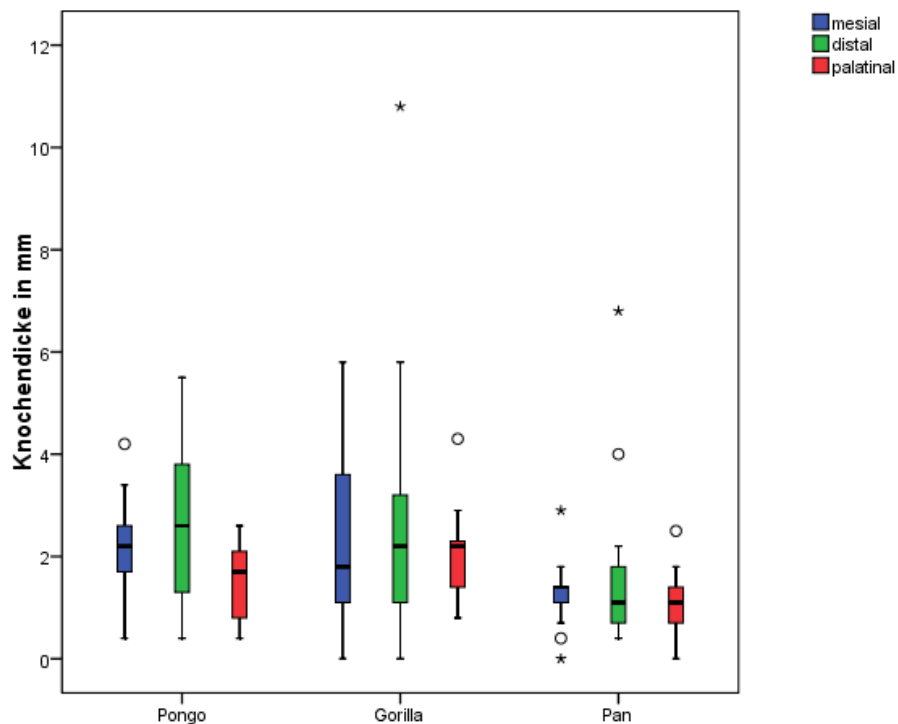


Abb. 26: Boxplots der Knochendicke zwischen dem Sinus maxillaris und den Zahnwurzelspitzen des dritten Molars bei den Gattungen *Pongo*, *Gorilla* und *Pan*. Die Werte der rechten und linken Seite wurden zusammengefasst.

4.4. Wurzellänge der Molaren des Oberkiefers

Im Vergleich zum Orang-Utan und Gorilla weist der Schimpanse die kürzesten Zahnwurzeln auf. Bei allen drei Gattungen ist die distobukkale Wurzel der dritten Molaren kürzer als alle anderen Molarenwurzeln. Eine generelle Aussage, welche Wurzel der Pongidae die längste ist, kann jedoch nicht getroffen werden. Beim Orang-Utan ist die distobukkale Wurzel des zweiten Molars mit einem Mittelwert von 15,4 mm am längsten. Mit einem Mittelwert von 15,8 mm sind sowohl die distobukkale Wurzel des zweiten Molars sowie die palatinale Wurzel des dritten Molars die längsten Molarenwurzeln der Gattung Gorilla. Hingegen ist beim Schimpansen die distobukkale Wurzel des ersten Molars mit einem Mittelwert von 11,4 mm am längsten. Die genaue Auflistung der Einzelwerte ist dem Anhang zu entnehmen (Tab. V-VII).

Tab. 8: Mittelwerte und Standardabweichungen der Wurzellänge der Molaren des Oberkiefers von *Pongo pygmaeus*, *Gorilla gorilla* und *Pan troglodytes*. Die Werte der rechten und linken Seite wurden zusammengefasst. Angaben in mm.

Wurzel	<i>Pongo pygmaeus</i>			<i>Gorilla gorilla</i>			<i>Pan troglodytes</i>		
	n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD
1. Molar mesiobukkal	16	14,9	2,05	13	14,6	1,33	12	10,2	1,77
1. Molar distobukkal	17	14,5	2,10	14	15,1	1,63	12	12,0	2,40
1. Molar palatinal	16	14,8	2,54	14	15,4	1,91	12	11,4	2,71
2. Molar mesiobukkal	21	14,9	1,97	14	15,5	1,69	14	10,8	1,47
2. Molar distobukkal	21	15,4	2,35	14	15,8	1,77	14	10,4	1,77
2. Molar palatinal	21	15,0	2,19	15	15,7	2,50	14	11,3	1,94
3. Molar mesiobukkal	20	14,0	1,32	14	15,5	2,11	14	9,5	2,11
3. Molar distobukkal	20	13,7	2,03	13	12,7	2,26	14	8,5	2,16
3. Molar palatinal	19	14,6	1,84	14	15,8	1,81	14	9,3	2,61

n: Anzahl; \bar{x} : Mittelwert; SD: Standardabweichung

Bei der Untersuchung auf Asymmetrien mithilfe des Wilcoxon-Tests (Tab. XI im Anhang) zwischen den Wurzellängen des 1. und 2. Quadranten zeigten sich sowohl bei *Pongo* und *Gorilla* als auch bei *Pan* keine signifikanten Unterschiede (Abb. IV-VI im Anhang). Der Vergleich zwischen den drei Gattungen Orang-Utan, Gorilla und Schimpanse mittels H-Test nach Kruskal und Wallis zeigte in Bezug auf die Wurzellänge jedoch bei allen Molaren beider Quadranten signifikante Unterschiede (Tab. XII im Anhang). In den folgenden Grafiken ist der Vergleich der Zahnwurzellängen zwischen den Gattungen mit Hilfe von Boxplots erfolgt (Abb. 27-29).

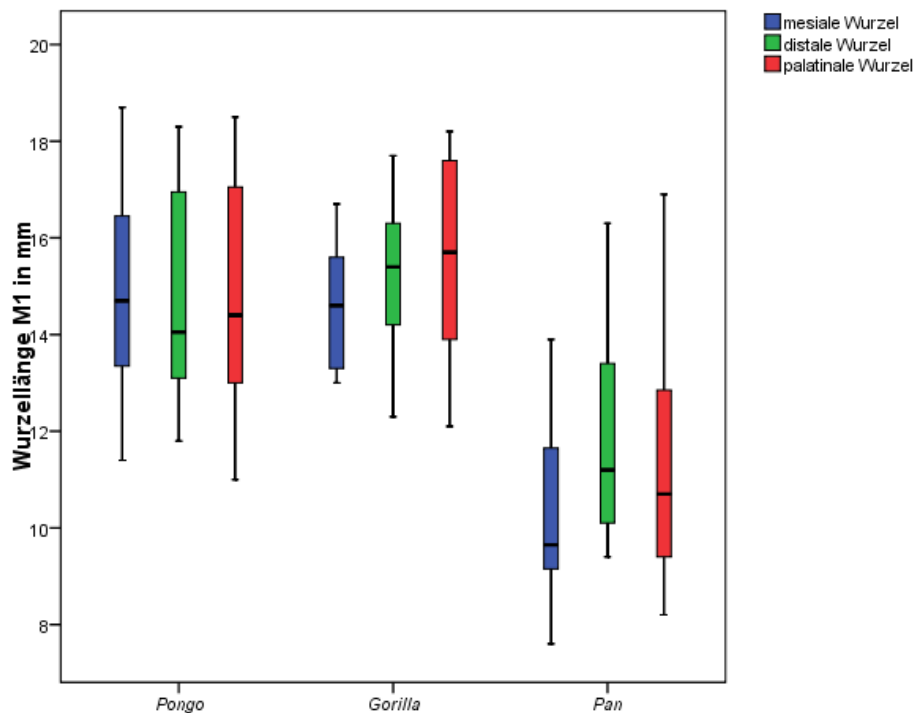


Abb. 27: Boxplots der Wurzellängen des ersten Oberkiefermolars (M1) bei den Gattungen *Pongo*, *Gorilla* und *Pan*. Die Werte der rechten und linken Seite wurden zusammengefasst.

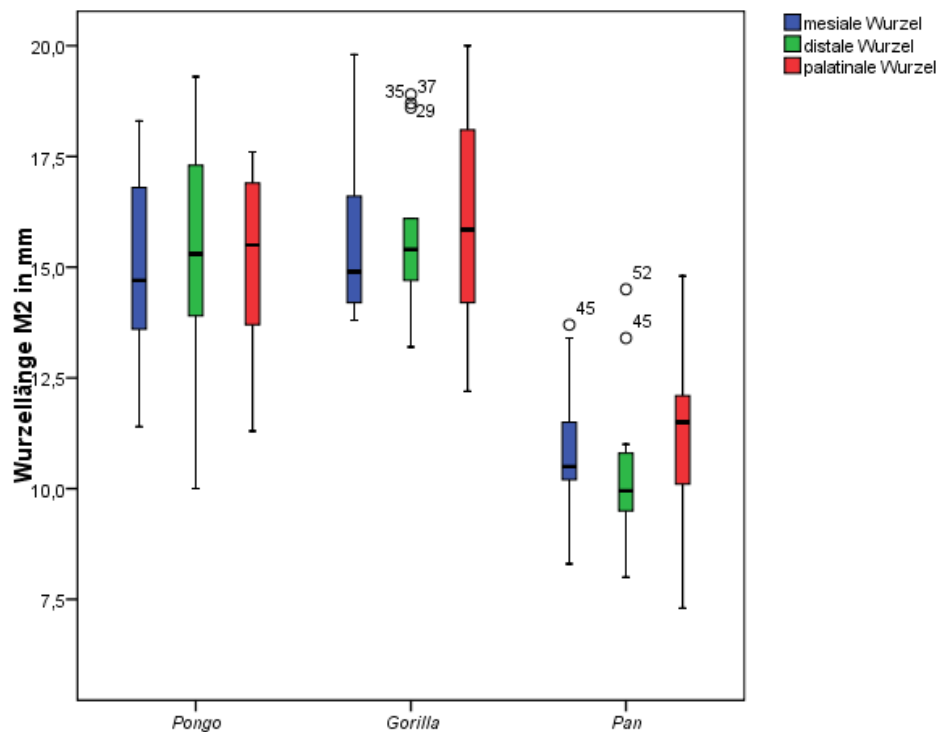


Abb. 28: Boxplots der Wurzellängen des zweiten Oberkiefermolars (M2) bei den Gattungen *Pongo*, *Gorilla* und *Pan*. Die Werte der rechten und linken Seite wurden zusammengefasst.

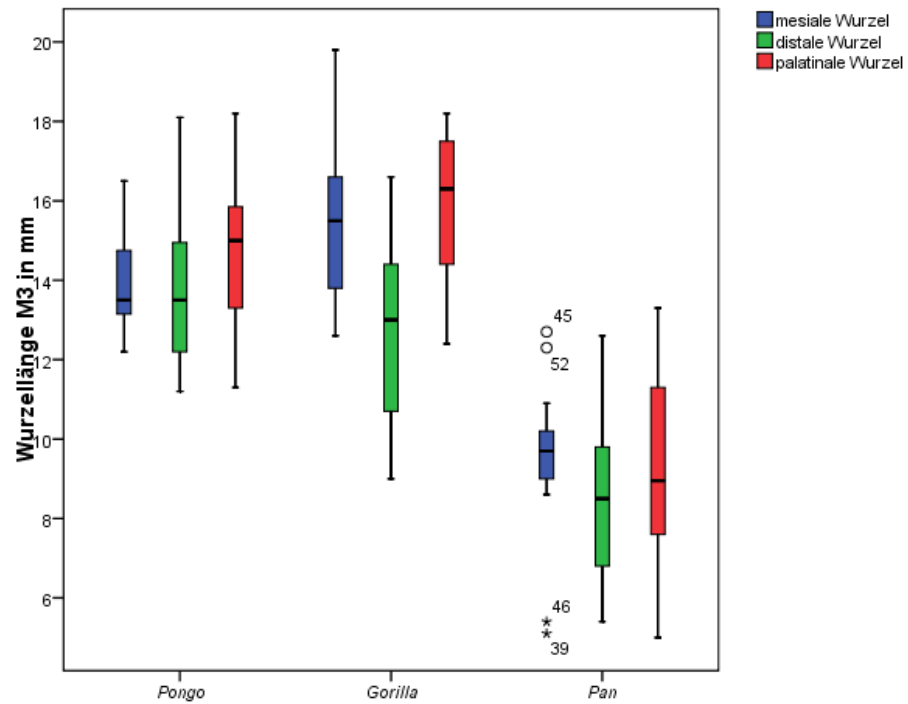


Abb. 29: Boxplots der Wurzellängen des dritten Oberkiefermolars (M3) bei den Gattungen *Pongo*, *Gorilla* und *Pan*. Die Werte der rechten und linken Seite wurden zusammengefasst.

4.5. Beziehung der Zahnwurzeln der Molaren des Oberkiefers zum Sinus maxillaris

Bei der Anfertigung der Schnittbilder zur Bestimmung der Zahnwurzellänge ist deutlich geworden, dass die Zahnwurzeln teilweise weit in den Sinus maxillaris reichen beziehungsweise, dass sich tiefe Rezessus der Kieferhöhle zwischen den Zahnwurzeln ausbilden.

Tab. 9: Mittelwerte und Standardabweichungen der Länge der in den Sinus maxillaris hineinragenden Wurzelanteile der Oberkiefermolaren von *Pongo pygmaeus*, *Gorilla gorilla* und *Pan troglodytes*. Die Werte der rechten und linken Seite wurden zusammengefasst. Angaben in mm.

Wurzel	<i>Pongo pygmaeus</i>			<i>Gorilla gorilla</i>			<i>Pan troglodytes</i>		
	n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD
1. Prämolare palatinal				1	1,1		1	4,7	
2. Prämolare vestibulär				2	1,6	0,28	2	2,9	0,28
2. Prämolare palatinal	3	3,2	1,21	4	4,3	1,36	5	4,9	0,63
1. Molar mesiobukkal				3	2,1	1,21	5	3,6	0,93
1. Molar distobukkal				2	1,3	0,21	5	2,9	1,35
1. Molar palatinal	1	1,3		7	4,9	2,32	9	5,0	1,99
2. Molar mesiobukkal	4	2,7	0,75	3	3,0	0,74	8	5,2	1,62
2. Molar distobukkal	4	3,3	2,81	3	3,5	2,65	3	3,9	0,36
2. Molar palatinal	10	2,3	1,45	6	4,2	1,88	9	5,1	2,14
3. Molar mesiobukkal	5	3,2	1,75	3	4,8	3,63	7	3,5	1,53
3. Molar distobukkal	1	1,7		1	1,1		2	2,0	0,28
3. Molar palatinal	8	3,0	1,45	2	3,3	2,05	3	3,1	2,19
4. Molar mesiobukkal				1	3,3				
4. Molar distobukkal				1	5,7				

n: Anzahl; \bar{x} : Mittelwert; SD: Standardabweichung

Am häufigsten ragen mit 40,5% die Molarenwurzeln der Schimpansen in den Sinus maxillaris. Dem entsprechen nur 18,1% der Molarenwurzeln der untersuchten Gorillas sowie 16,6% der Molarenwurzeln der Orang-Utans. Folglich weist der Kieferhöhlenboden des Schimpansen ein deutlich unregelmäßigeres Relief im Vergleich zum Gorilla und Orang-Utan auf (Abb. 30-32).

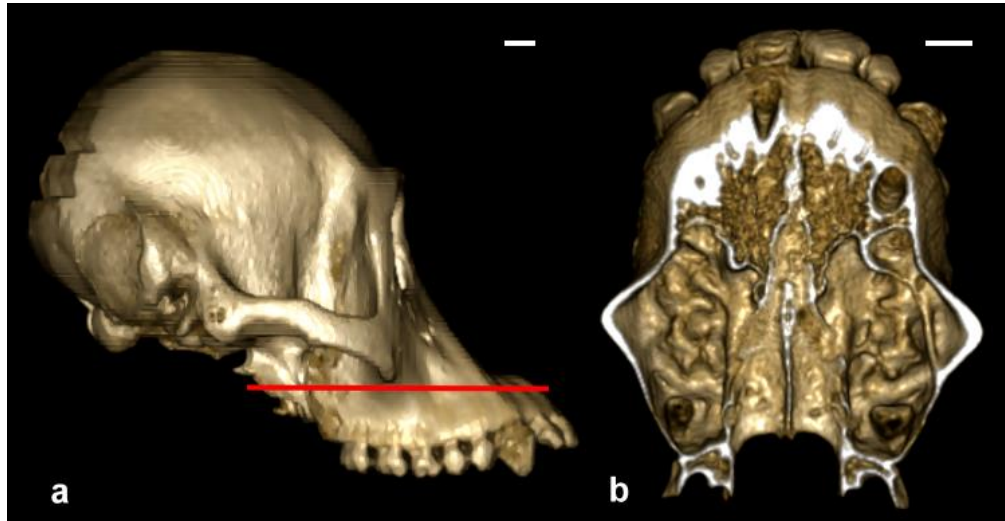


Abb. 30: DVT Volumenrekonstruktionen des Schädels (a) eines weiblichen adulten Orang-Utans (*Pongo pygmaeus*) mit rot markierter Schnittebene. Der daraus resultierende Transversalschnitt (b) zeigt den zerklüfteten Boden des Sinus maxillaris. Balkenlänge: 1 cm.

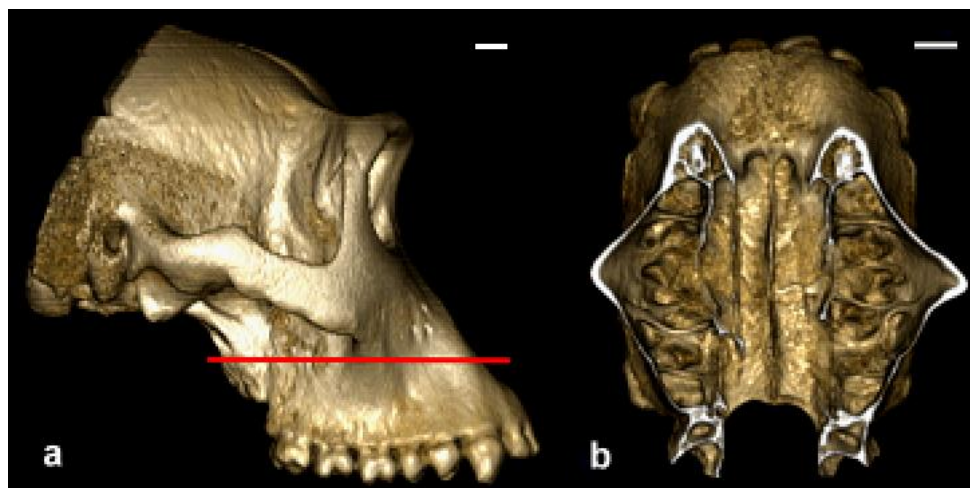


Abb. 31: DVT Volumenrekonstruktionen des Schädels (a) eines weiblichen adulten Gorillas (*Gorilla gorilla*) mit rot markierter Schnittebene. Der daraus resultierende Transversalschnitt (b) zeigt den zerklüfteten Boden des Sinus maxillaris. Balkenlänge: 1 cm.

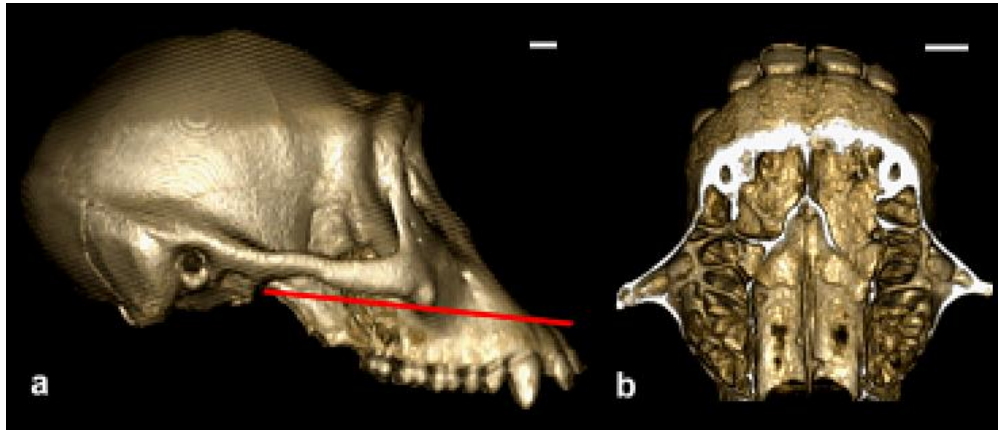


Abb. 32: DVT Volumenrekonstruktionen des Schädels (a) eines weiblichen adulten Schimpansen (*Pan troglodytes*) mit rot markierter Schnittebene. Der daraus resultierende Transversalschnitt (b) zeigt den zerklüfteten Boden des Sinus maxillaris. Balkenlänge: 1 cm.

Die in den Sinus maxillaris hineinragenden Wurzeln wurden bezüglich ihrer Länge mithilfe des Wilcoxon-Tests auf Unterschiede zwischen der rechten und linken Kieferseite untersucht. Dabei konnte kein signifikanter Unterschied zwischen der rechten und linken Seite festgestellt werden (Tab. XIII, XIV im Anhang). Am häufigsten ragte die palatinale Wurzel des ersten und zweiten Molars des Schimpansen in den Sinus maxillaris. Dies war bei beiden Molaren zu 64,3% der Fall, gefolgt von der mesiobukkalen Wurzel des zweiten Molars (57,1%) und der mesiobukkalen Wurzel des dritten Molars (50%). Beim Gorilla ragten ebenfalls die palatinale Wurzel des ersten Molars (43,8%) sowie die palatinale Wurzel des zweiten Molars (37,5%) vermehrt in die Kieferhöhle. Wie bei *Pan* und *Gorilla* reicht auch bei *Pongo* die palatinale Wurzel des zweiten Molars häufig über den Sinusboden hinaus sowie im Gegensatz zu den anderen Pongiden die palatinale Wurzel des dritten Molars (36,4%).

Unter den drei untersuchten Gattungen *Pongo*, *Gorilla* und *Pan* wurden einige Tiere gefunden bei denen einzelne Prämolarenwurzeln in den Sinus maxillaris reichen. So ragt bei drei Tieren der Gattung *Pongo*, vier Tieren der Gattung *Gorilla* und bei fünf Tieren der Gattung *Pan* die palatinale Wurzelspitze des zweiten Prämolars in die Kieferhöhle. Dieser Zusammenhang zwischen Zahnwurzelspitze und Sinus maxillaris ist bei *Gorilla* und *Pan* ebenfalls an je einer palatinalen Wurzel des ersten Prämolars und bei je zwei vestibulären Wurzeln des zweiten Prämolars

nachweisbar. Desweiteren ragen bei einem Tier der Gattung *Gorilla* die mesiobukkale und distobukkale Wurzelspitze eines vierten Molars in die Kieferhöhle. Die genaue Auflistung der Einzelwerte ist dem Anhang zu entnehmen (Tab. V-VII). Da das Alter der Tiere nicht bekannt ist, kann die Beziehung zwischen dem Grad der Pneumatisierung der Kieferhöhle und dem Lebensalter der Tiere in dieser Arbeit nicht untersucht werden.

Ein Geschlechtsdimorphismus konnte aufgrund des zum Teil unbekannten Geschlechts der untersuchten Schädel nicht nachgewiesen werden. Es zeigte sich jedoch die Tendenz, dass die Wurzeln weiblicher Tiere beim Gorilla und Orang-Utan vermehrt in den Sinus ragen. Diese Tendenz konnte beim Schimpanse nicht bewertet werden, da nur weibliche Schädel zur Verfügung standen.

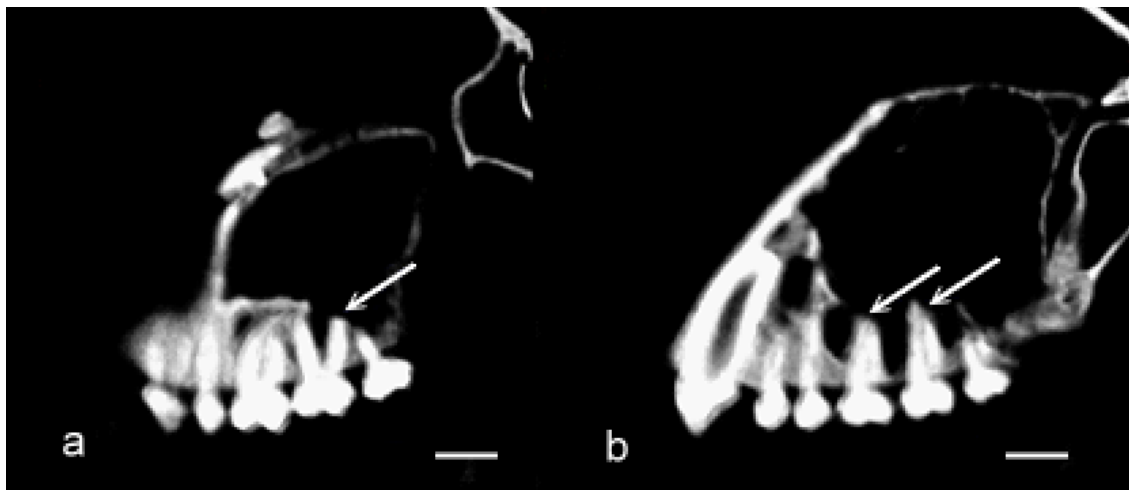


Abb. 33: DVT-Schichtaufnahmen in verschiedenen sagittalen Schnittebenen in Höhe des 1. Quadranten des Schädels eines adulten weiblichen Schimpansen (*Pan troglodytes*). (a) Schnittebene durch die vestibulären Molarenwurzeln und (b) Schnittebene durch die palatinalen Molarenwurzeln. Die vestibulären (a) und palatinalen (b) Wurzeln der Molaren können weit in den Sinus maxillaris ragen (siehe Pfeile). Balkenlänge: 1 cm.

4.6. Korrelationsanalyse

Zahnkeimvolumina und Schädelmaße von Schädeln juveniler Orang-Utans

Mittels der ersten hier aufgeführten Korrelationsanalyse (Tab. 10) wurden die Zusammenhänge zwischen den Volumina der permanenten Zahnkeime und ausgewählten äußeren Schädelmaßen der juvenilen Orang-Utan Schädel untersucht.

Tab. 10: Korrelationsanalyse zwischen den Volumina der permanenten Zahnkeime und ausgewählten Schädelmaßen von *Pongo* (juvenil). Alle Altersgruppen sowie die Werte des ersten und zweiten Quadranten wurden zusammengefasst.

	Gesamtschädel- länge	Gesichts- schädellänge	Schädelbasis- länge	Gaumenlänge	Maxilloalveolar- länge	Mittelgesichts- breite
I1	0,824**	0,818**	0,535	0,902**	0,828**	0,818**
I2	0,858**	0,798**	0,852**	0,806**	0,748**	0,600*
C	0,682*	0,782**	0,393	0,718**	0,870**	0,822**
P1	0,645*	0,735**	0,404	0,639*	0,840**	0,779**
P2	0,735**	0,796**	0,400	0,770**	0,924**	0,871**
M1	0,817**	0,832**	0,431	0,883**	0,941**	0,932**
M2	0,622	0,771*	0,254	0,845*	0,854*	0,806*

I1: Volumen – mittlerer Inzisivus; I2: Volumen – lateraler Inzisivus; C: Volumen – Caninus; P1: Volumen – erster Prämolare; P2: Volumen – zweiter Prämolare; M1: Volumen – erster Molar; M2: Volumen – zweiter Molar; ** $p < 0,01$; * $p < 0,05$

Wie aus Tabelle 10 hervorgeht, ergab die Analyse signifikante Zusammenhänge zwischen den Volumina der Zahnkeime und folgenden Schädelmaßen: Gesichtsschädellänge, Gaumenlänge, Maxilloalveolarlänge und Mittelgesichtsbreite. Mit Ausnahme des Zahnkeims M2 korrelieren die Gesamtschädellänge und die Obergesichtshöhe ebenfalls mit den Zahnkeimvolumina. Ein statistisch besonders enger Zusammenhang besteht

zwischen dem Volumen des M1 und der Maxilloalveolarlänge ($R=0,941$) sowie der Mittelgesichtsbreite ($R=0,932$) und zwischen dem Volumen des P2 und der Maxilloalveolarlänge ($R=0,924$). Bis auf vereinzelt Fällen gab es hingegen keine Zusammenhänge zwischen dem Zahnkeimvolumen und der Schädelbasislänge, Eckzahnhöhe und Interorbitalbreite. Die folgenden Streu-Punkt-Diagramme (Abb. 34, 35) wurden stellvertretend für die Vielzahl der signifikanten Zusammenhänge zwischen Zahnkeimvolumina und Schädelmaße ausgewählt.

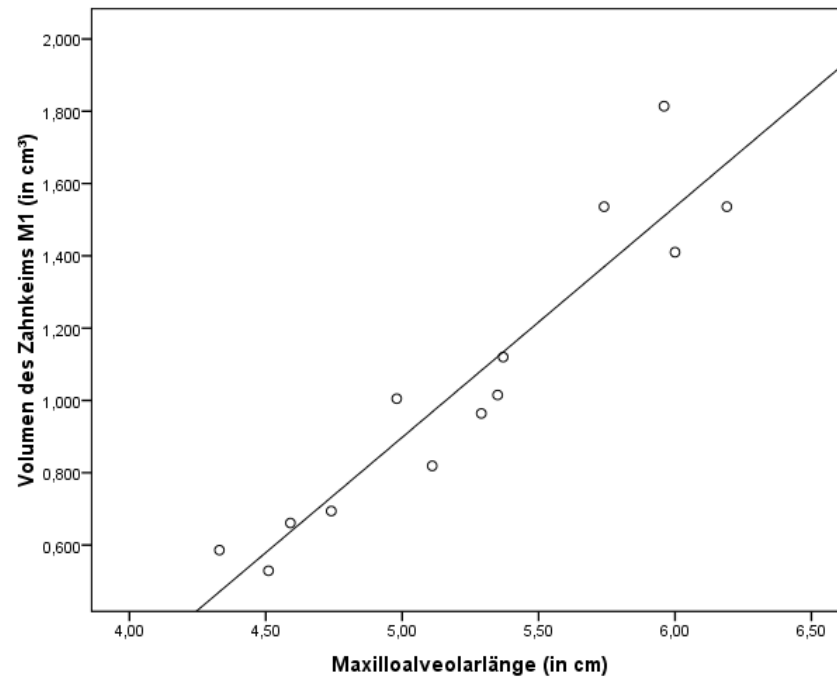


Abb. 34: Graphische Darstellung des Ergebnisses der einfachen linearen Regressionsanalyse zwischen der Maxilloalveolarlänge und den Zahnkeimvolumina des ersten Molars (M1) der juvenilen Orang-Utan Schädel; $y=0,6x-1,9$; $R^2=0,886$.

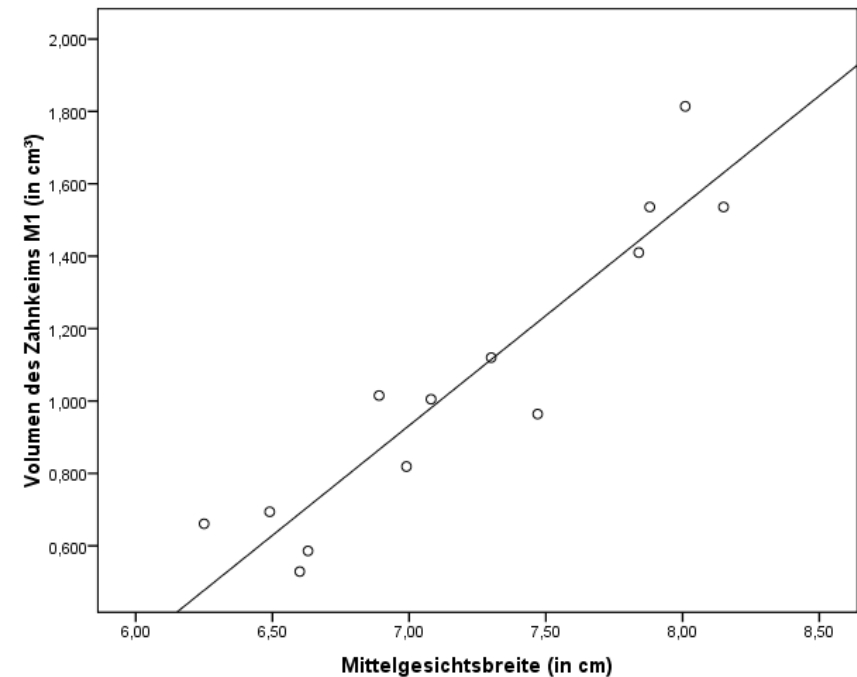


Abb. 35: Graphische Darstellung des Ergebnisses der einfachen linearen Regressionsanalyse zwischen der Mittelgesichtsbreite und den Zahnkeimvolumina des ersten Molars (M1) der juvenilen Orang-Utan Schädel; $y=0,6x-3,1$; $R^2=0,869$.

Schädelmaße adulter Schädel der Gattung *Pongo*, *Gorilla* und *Pan*

Da für die nachfolgenden Auswertungen adulte Schädel von den drei Gattungen *Pongo*, *Gorilla* und *Pan* zur Verfügung standen, erfolgte zunächst eine Korrelationsanalyse der Schädelmaße untereinander (Tab. 11). Es stellte sich heraus, dass Gesichtsschädellänge, Gaumenlänge, Maxilloalveolarlänge und Mittelgesichtsbreite bei allen drei Gattungen untereinander korrelieren. Bei *Pan* bestand jedoch kein Zusammenhang zwischen Maxilloalveolarbreite und Gaumenlänge. Stellvertretend für die Vielzahl der signifikanten Zusammenhänge zwischen den Schädelmaßen wurde das folgende Streu-Punkt-Diagramm zur Veranschaulichung ausgewählt (Abb. 36).

Tab. 11: Übersicht der signifikant korrelierenden Schädelmaße bei *Pongo* (1), *Gorilla* (2) und *Pan* (3).

	SL	GSL	SBL	GL	MAL	MGB	MAB	GB
GSL	1,3							
SBL								
GL	1,3	1,2,3						
MAL	1,3	1,2,3		1,2,3				
MGB	3	1,2,3		1,2,3	1,2,3			
MAB	1,3	1,2,3		1,2	1,2,3	1,2,3		
GB		2		2	2	2	2,3	
OGH	1,3	1,2		1,2	1,2	2	2	2

SL: Gesamtschädellänge; GSL: Gesichtsschädellänge; SBL: Schädelbasislänge;
GL: Gaumenlänge; MAL: Maxilloalveolarlänge; MGB: Mittelgesichtsbreite; MAB:
Maxilloalveolarbreite; GB: Gaumenbreite; OGH: Obergesichtshöhe

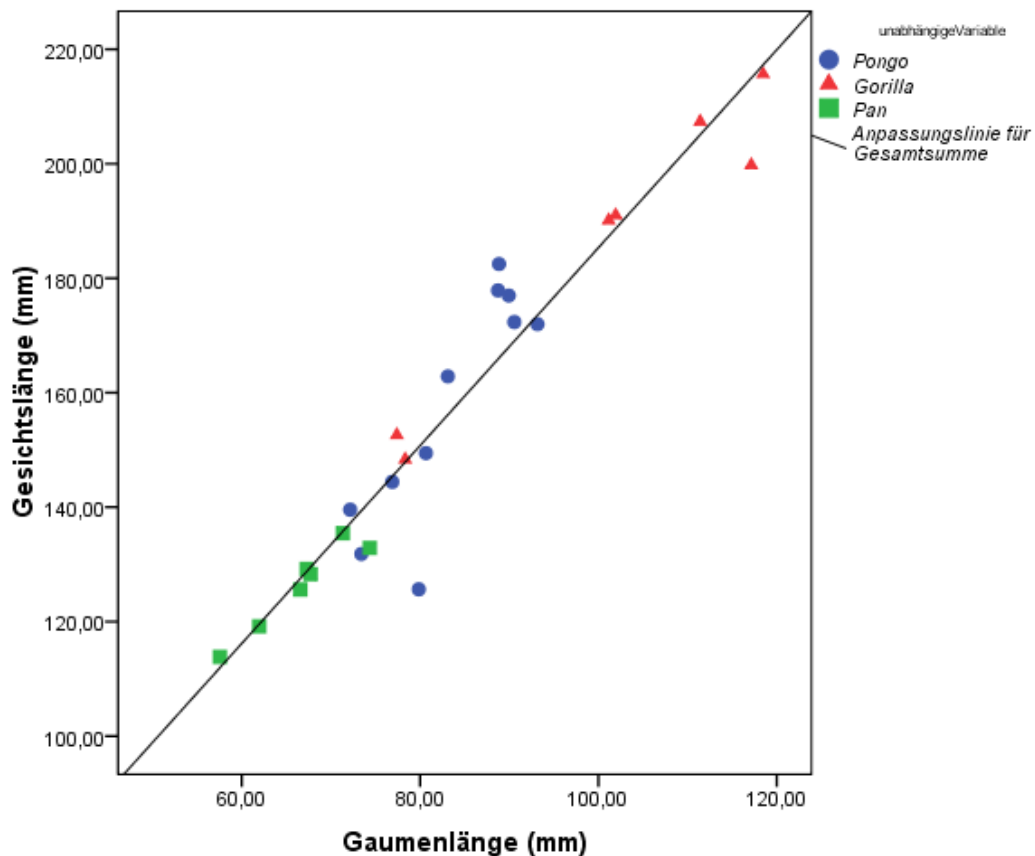


Abb. 36: Graphische Darstellung des Ergebnisses der einfachen linearen Regressionsanalyse zwischen der Gesichtsschädellänge und Gaumenlänge der Gattungen *Pongo*, *Gorilla* und *Pan*; $y=1,7x+14,3$; $R^2 = 0,924$.

Knochendicken zwischen Sinus maxillaris und Oberkiefermolaren

Eine weitere Korrelationsanalyse erfolgte zwischen den erhobenen Werten der Knochendicke, welche zwischen den Zahnwurzelspitzen und dem Sinus maxillaris gemessen wurde. Da der Rechts-Links-Vergleich der beiden oberen Quadranten keine signifikanten Unterschiede aufwies (Tab. VIII, IX im Anhang), wurden auch bei dieser Analyse die Werte des ersten und zweiten Quadranten zusammengefasst. Wie aus der Tabelle 12 hervorgeht, korrelieren die Knochendicken über der mesialen und distalen Wurzelspitze des ersten Molars bei allen untersuchten Gattungen.

Tab. 12: Übersicht der signifikant korrelierenden Knochendicken zwischen den jeweiligen Wurzelspitzen (mesial, distal, palatinal) der Oberkiefermolaren und dem Sinus maxillaris bei *Pongo* (1), *Gorilla* (2) und *Pan* (3).

	M1 distal	M1 palatinal	M2 mesial	M2 distal	M2 palatinal	M3 mesial	M3 distal	M3 palatinal
M1 mesial	1, 2, 3			3		1, 3	1, 3	
M1 distal				1		1	1	
M1 palatinal			3	3	2			1
M2 mesial				1, 2		3	3	
M2 distal						1	1	
M2 palatinal							2	1
M3 mesial							1, 3	
M3 distal								

M1: erster Molar (16, 26); M2: zweiter Molar (17, 27); M3: dritter Molar (18, 28)

Ziel der vorliegenden Arbeit war auch die Prüfung der Zusammenhänge zwischen ausgewählten Schädelmaßen und der Knochendicke zwischen dem Sinus maxillaris und den Zahnwurzelspitzen der Oberkieferseitenzähne. Das Ergebnis wird in Tabelle 13 dargestellt. Sie zeigt, dass nur wenige Merkmalspaare korrelieren. Die Knochendicke über der mesialen Wurzel des ersten Molars korreliert mit der Gaumenbreite bei *Pongo* und *Gorilla*. Desweiteren bestand bei *Gorilla* ein Zusammenhang zwischen den Knochendicken über der distalen Wurzel des ersten Molars und der Mittelgesichtsbreite sowie der Obergesichtshöhe. Bei *Pongo* zeigte sich dieser Zusammenhang zur Gaumenbreite. Ein signifikanter Korrelationskoeffizient bestand auch zwischen der Knochendicke über der palatinalen Wurzel des ersten Molars und der Gesamtschädellänge. Bei *Pan* korrelierten die Knochendicken über der palatinalen Wurzel des dritten Molars mit der Gaumenlänge, Maxilloalveolarlänge, Mittelgesichtsbreite und der Maxilloalveolarbreite des Schädels.

Tab. 13: Korrelationsanalyse von ausgewählten Schädelmaßen und der Knochendicke zwischen dem Sinus maxillaris und den Zahnwurzelspitzen der Oberkieferseitenzähne bei *Pongo* (1), *Gorilla* (2) und *Pan* (3). Die Werte des ersten und zweiten Quadranten wurden zusammengefasst.

	Gesamt- schädellänge	Gesichts- schädellänge	Schädelbasis- länge	Gaumen- länge	Maxillo- alveolarlänge	Mittel- gesichtsbreite	Maxillo- alveolarbreite	Gaumen- breite	Ober- gesichtshöhe
M1 mesial								1, 2	
M1 distal						2		1	2
M1 palatinal	1								
M2 mesial						2			
M2 distal									
M2 palatinal		1							
M3 mesial									
M3 distal									
M3 palatinal				3	3	3	3		

M1: erster Molar (16, 26); M2: zweiter Molar (17, 27); M3: dritter Molar (18, 28)

Wurzellängen der Oberkiefermolaren

Eine weitere Korrelationsanalyse fand bezüglich der Wurzellängen der Oberkiefermolaren aller drei Gattungen statt. Wie aus Tabelle 14 hervorgeht, finden sich die meisten Zusammenhänge zwischen den Wurzellängen der Molaren des Schimpansen. Hier korrelieren alle Molarenwurzeln untereinander mit Ausnahme der palatinalen Wurzel des dritten Molars. Diese weist als einzige keinen Zusammenhang zu der mesialen Wurzel des zweiten Molars, der distalen Wurzel des dritten Molars und den palatinalen Wurzeln der ersten und zweiten Molaren auf.

Tab. 14: Übersicht über signifikant korrelierenden Wurzellängen der Oberkiefermolaren bei *Pongo* (1), *Gorilla* (2) und *Pan* (3).

	M1 distal	M1 palatinal	M2 mesial	M2 distal	M2 palatinal	M3 mesial	M3 distal	M3 palatinal
M1 mesial	1,3	1,2,3	1,3	1,2,3	1,2,3	3	1,3	3
M1 distal		1,3	1,3	3	3	1,3	1,3	3
M1 palatinal			1,3	1,3	1,2,3	1,3	1,3	
M2 mesial				2,3	3	2,3	2,3	2
M2 distal					2,3	1,2,3	1,2,3	2,3
M2 palatinal							3	1
M3 mesial							1,2,3	2,3
M3 distal								2

M1: erster Molar (16, 26); M2: zweiter Molar (17, 27); M3: dritter Molar (18, 28)

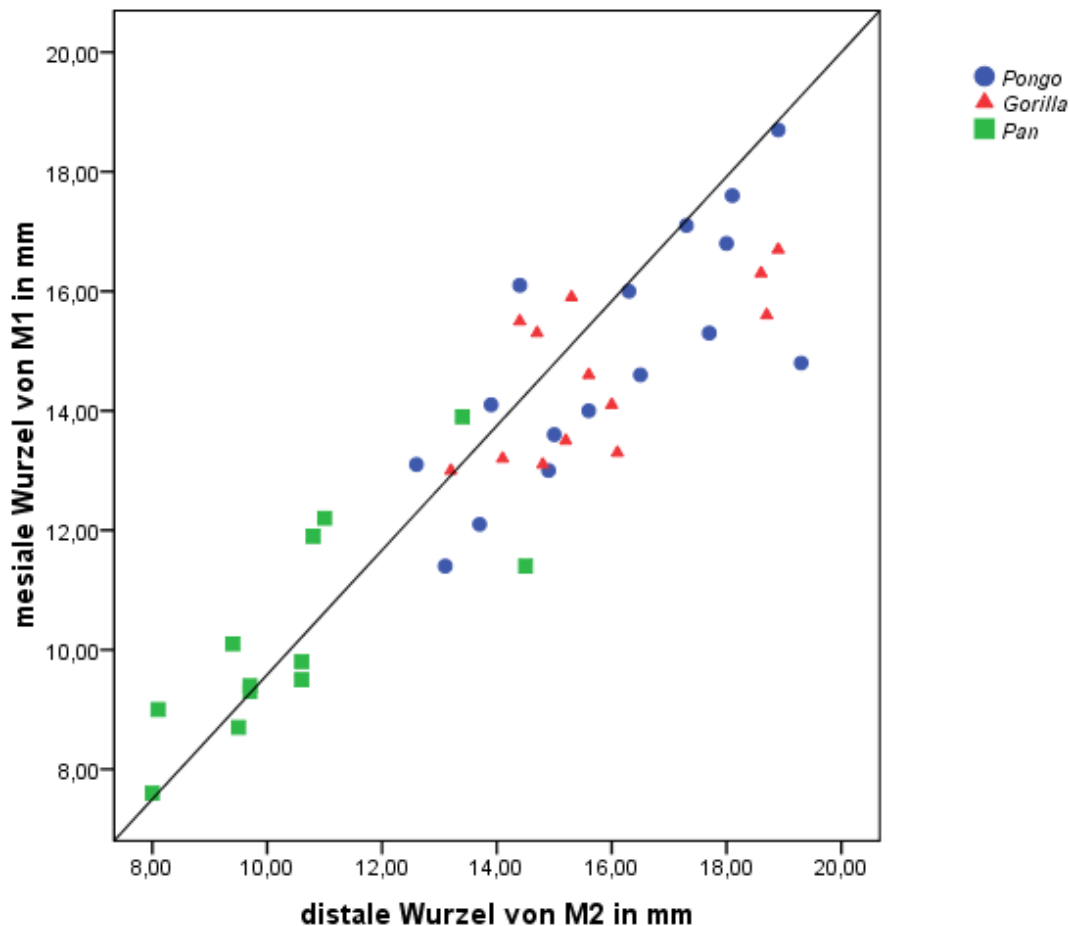


Abb. 37: Graphische Darstellung des Ergebnisses der einfachen linearen Regressionsanalyse zwischen der distalen Wurzellänge des zweiten Molars (M2) und der mesialen Wurzellänge des ersten Molars (M1) der Gattungen *Pongo*, *Gorilla* und *Pan*; $y=1,0x-0,8$; $R^2 = 0,812$.

Um den Zusammenhang zwischen der Wurzellänge und den Schädelmaßen zu erfassen, wurde folgende Korrelationstabelle erstellt (Tab. 15). Beim Schimpansen korrelieren die Wurzeln des zweiten Molars mit der Gaumenbreite, Maxilloalveolarbreite und Mittelgesichtsbreite. Außerdem besteht ein signifikanter Zusammenhang zwischen den Wurzeln des ersten Molars und der Gaumenbreite sowie der mesialen Wurzel des ersten Molars und der Maxilloalveolarbreite. Desweiteren korrelieren beim Orang-Utan die palatinalen Wurzeln des ersten und zweiten Molars mit der Gaumenlänge, Maxilloalveolarlänge und Mittelgesichtsbreite sowie die mesiale und distale Wurzel des dritten Molars mit der Obergesichtshöhe. Beim Gorilla zeigten die Ergebnisse der Analyse signifikante Zusammenhänge zwischen der palatinalen Wurzel des dritten Molars und

Gesichtsschädellänge, Gaumenlänge, Maxilloalveolarlänge, Maxilloalveolarbreite und Obergesichtshöhe sowie zwischen der mesialen Wurzel des dritten Molars und der Maxilloalveolarbreite.

Tab. 15: Korrelationsanalyse von ausgewählten Schädelmaßen und der Zahnwurzellänge der Oberkieferseitenzähne bei *Pongo* (1), *Gorilla* (2) und *Pan* (3). Die Werte des ersten und zweiten Quadranten wurden zusammengefasst.

	Gesamt- schädellänge	Gesichts- schädellänge	Schädelbasis- länge	Gaumen- länge	Maxillo- alveolarlänge	Mittel- gesichtsweite	Maxillo- alveolarbreite	Gaumen- breite	Ober- gesichtshöhe
M1 mesial							3	3	
M1 distal								3	
M1 palatinal				1	1	1		3	
M2 mesial						3	3	3	
M2 distal						3	3	3	
M2 palatinal				1	1	1,3	1,3	3	
M3 mesial							2		1
M3 distal									1
M3 palatinal		2		2	2		2		2

M1: erster Molar (16, 26); M2: zweiter Molar (17, 27); M3: dritter Molar (18, 28)

5. Diskussion

5.1. Entwicklungsstand der Zahnkeime beim juvenilen Orang-Utan

Der Schädel setzt sich bekanntlich aus einer Vielzahl zum Teil voneinander unabhängiger Strukturelemente zusammen. Solche Strukturelemente können auch innerhalb einzelner Schädelknochen wie der Maxilla oder Mandibula identifiziert werden. So postulieren Moss and Greenberg (1967), dass sich die Maxilla aus einer nasalen, orbitalen, pneumatischen, alveolären, premaxillaren und basalen skelettalen Einheit zusammensetzt. Diese Strukturelemente oder Komponenten erfüllen bestimmte Funktionen und beeinflussen sich jedoch auch gegenseitig (Moss and Young, 1960; Lieberman, 2011). Damit ergibt sich eine außerordentlich große Bandbreite an Funktionen, deren Analyse aufgrund onto- und phylogenetischer Veränderungen nicht immer leicht fällt. Das spiegelt sich auch in der von uns untersuchten Beziehung zwischen dem Wachstum der Zahnkeime und dem Schädel wider.

So zeigte die Korrelation der Zahnkeimvolumina und der Schädelmaße signifikante Zusammenhänge zwischen den Volumina der Zahnkeime und folgenden Schädelmaßen: Gesichtsschädellänge, Gaumenlänge, Maxilloalveolarlänge und Mittelgesichtsbreite. Da es sich bei diesen Schädelmaßen um Messstrecken handelt, die in direktem Zusammenhang mit dem Oberkiefer stehen, ist dieses Ergebnis nachvollziehbar. Maße wie der Interorbitalabstand und die Schädelbasislänge korrelieren jedoch nicht mit den Zahnkeimvolumina des Oberkiefers.

Schumacher (1968) hebt den besonderen Einfluss der Dentition als lokalen Faktor auf die Schädelentwicklung hervor (Abb. 5). Diese Aussage spiegelt sich auch in den Ergebnissen der vorliegenden Studie wider. Auch unsere Arbeit weist auf einen Zusammenhang zwischen Schädelentwicklung und Dentition hin, da die Volumina der sich entwickelnden Zahnkeime mit den erhobenen Messstrecken des Oberkiefers korrelieren.

Aus der Betrachtung der Mittelwerte der Volumina der Milchzähne der juvenilen Orang-Utan Schädel (Tab. 5) geht hervor, dass mit steigendem Entwicklungsstand

des permanenten Gebisses das Gesamtvolumen der Milchzähne abnimmt. Hier spiegeln sich vermutlich Resorptionsvorgänge wider, welche von den sich entwickelnden permanenten Zahnkeimen verursacht werden. Die Tabelle 5 zeigt auch einige Auffälligkeiten. So zeigten die Milchzähne 54 und 64 eine stetige Volumenzunahme entlang der Altersgruppen. Abgesehen von der Möglichkeit individueller Variationen, muss hier auf das eher heterogene Untersuchungsmaterial hingewiesen werden, welches die ontogenetischen Veränderungen nur ungenau widerspiegelt.

Die Zahnkeime der seitlichen permanenten Inzisivi liegen im Vergleich zu den mittleren permanenten Inzisivi weiter palatinal und erscheinen erst später weiter vestibulär. Beim Menschen schieben sich ebenfalls die Keime der permanenten lateralen Schneidezähne von palatinal nach vestibulär und resorbieren dabei die Wurzeln der Milchsneidezähne von palatinal (Waes and Stöckli, 2001). Die im Gegensatz dazu stehende unterminierende Resorption der Wurzel des seitlichen Milchsneidezahnes durch den mittleren permanenten Schneidezahn beim Menschen beschreibt Schopf (2008) als Variation. Aus der Abbildung 22 lässt sich vermuten, dass die seitlichen Inzisivi des Milchgebisses ebenfalls von den Zahnkeimen der mittleren permanenten Inzisivi resorbiert werden.

Die stärkste Volumenabnahme im Milchgebiss erfolgte zunächst an den mittleren Schneidezähnen. Bei Betrachtung der dreidimensionalen Darstellungen der Altersgruppe 1 vor dem Durchbruch des ersten Molars (Abb. 21) zeigte sich, dass die Anlagen der ersten Molaren und der mittleren Inzisivi weiter entwickelt waren als die der sich erst ausbildenden Zahnkeime der anderen permanenten Zähne. Dies wird auch anhand der Volumina in Tabelle 6 bestätigt. Die Zahnkeime der mittleren Inzisivi liegen zunächst palatinal der entsprechenden Milchzähne. Die graphischen Darstellungen aus Abbildung 21 lassen vermuten, dass sich die Zahnkeime der mittleren Inzisivi nach vestibulär schieben und mit der Resorption beginnen, während die Zahnkeime der Prämolaren ausreichend Platz zwischen den Milchmolarenwurzeln finden und erst später zu Resorptionen führen.

Nach Winkler et al. (1996) hat bei Vollendung der Kronenbildung des ersten Molars die Mineralisierung aller permanenten Zahnkeime des Orang-Utans – mit

Ausnahme des dritten Molars – bereits begonnen. Dies kann durch unsere Untersuchungen in Bezug auf das Greifswalder Material der Orang-Utans bestätigt werden (Abb. 20d). Mit Ausnahme eines Schädels, bei welchem die Anlage des zweiten Prämolars noch nicht ersichtlich war, konnten Mineralisierungen an allen Inzisivi, Canini, Prämolaren sowie an den ersten Molaren festgestellt werden. Gegen Ende der Fertigstellung der Krone des ersten Molars wurde dann auch die Anlage des zweiten Molars ersichtlich. Die Anlage des dritten Molars zeigte sich hingegen erst nach fast vollständig abgeschlossenem Wurzelwachstum des ersten Molars.

Durchbruchsreihenfolge der permanenten Zähne

Wie bei allen anderen Primaten (Smith, 1989) und beim Menschen (Rosenbauer et al., 1998) bricht der erste permanente Molar auch bei *Pongo* als erstes durch (Abb. 20d). Dies erfolgt bei *Pongo* im Alter zwischen 4,5 bis 5 Jahren (Kelley et al., 2009). Zeitgleich beginnen Resorptionsvorgänge an den Milchschnidezähnen. Die ersten Molaren verfügen beim Orang-Utan als Zuwachszähne über ausreichend Platz im Kiefer und befinden sich nach ihrem Durchbruch gleich in funktioneller Okklusion. Die Ersatzzähne müssen hingegen einen weiteren Weg vom Durchbruch bis zur Okklusionsebene zurücklegen (Dean, 2000).

Im Gegensatz dazu bricht beim Menschen der erste Molar häufig zeitgleich mit den mittleren Schneidezähnen durch (Beynon et al., 1991b). Der spätere Schneidezahndurchbruch bei den Pongiden kann nach den Angaben von Alt und Türp (1997) aus Platzmangel im vorderen Teil des Zahnbogens resultieren. Insgesamt dauert die vollständige Zahnentwicklung beim Menschen bis zum 18. Lebensjahr an und nimmt somit mehr Zeit in Anspruch als die Zahnentwicklung der Pongiden mit etwa 10-12 Jahren (Beynon et al., 1991b). Dies führen Beynon et al. (1991b) und Kelley et al. (2009) auf das schnellere Wurzelwachstum der Pongiden zurück.

Ramirez-Rossi (2002) berichtet, dass gegen Ende der Kronenbildung des ersten Molars etwa $\frac{1}{3}$ der Krone des ersten Prämolars und $\frac{1}{4}$ der Krone des zweiten Prämolars ausgeformt sind. Obgleich aus unseren Untersuchungen hervorgeht, dass bei *Pongo* kein großer Unterschied zwischen den Zahnkeimvolumina des

ersten und zweiten Prämolars besteht, sind die zweiten Prämolaren tendenziell etwas größer (Tab. 6, Abb. 20c). Nach Angaben von Dean (1987) sind bei den Großen Menschenaffen zum Zeitpunkt des Durchbruchs der ersten Molaren die Kronen der Prämolaren nicht ganz zur Hälfte fertig gestellt. Dies kann durch unsere Beobachtungen für den Orang-Utan bestätigt werden.

Desweiteren konnten wir feststellen, dass der erste Prämolare in einem Fall zeitgleich mit dem zweiten Molar durchbrach. In einem weiteren Fall trat der zweite Molar noch vor der Exfoliation des ersten Milchmolars durch den Alveolarknochen. Auffällig war, dass sich bei keinem der Schädel ein Inzisivus im Durchbruch befand. Dies unterstützt die Annahme von Schultz (1941), dass beim Orang-Utan dem Wechsel der Schneidezähne gewöhnlich der Durchbruch der zweiten Molaren vorausgeht. Ein juveniler Schädel aus unserem Untersuchungsgut spiegelte die Untersuchungsergebnisse von Krogmann (1930) wider, der eine schnelle zeitliche Abfolge des Durchbruchs der Inzisivi, Prämolaren und zweiten Molaren zeigte.

Bennejeant (1940) berichtet bei seinen Untersuchungen am Orang-Utan, dass der mittlere Inzisivus zeitgleich mit dem zweiten Molaren durchbricht. Diese Aussagen können anhand unserer Untersuchungen nicht abschließend beurteilt werden. Zwar sind in einem der juvenilen Orang-Utan Schädel die Kronen der beiden zweiten Molaren des Oberkiefers bereits über dem Niveau des Alveolarfortsatzes (Abb. 22a), aber die Inzisivi der Milchdentition des Oberkiefers sind noch nicht verlorengegangen. Im Unterkiefer sind hingegen die mittleren permanenten Inzisivi bereits im Durchbruch. Dies ähnelt wieder eher dem Untersuchungsergebnis von Schultz (1941), dass dem Wechsel der mittleren Schneidezähne der Durchbruch der zweiten Molaren vorausgeht.

Da das chronologische Alter der hier untersuchten Individuen nicht bekannt ist, kann an dieser Stelle keine Angabe zu Durchbruchzeitpunkten erfolgen. Fest steht jedoch, dass nach dem Durchbruch des ersten Molars zunächst keine nach außen sichtbaren Veränderungen stattfinden, welches von einigen Autoren als Pause bezeichnet wird (Selenka, 1898-1900; Krogmann, 1930).



Abb. 38: Schädel und Unterkiefer eines Schimpansen mit freipräparierten Zahnkeimen aus Schumacher und Schmidt (1982). Abdruck erfolgt mit freundlicher Genehmigung von G.-H. Schumacher.

Ein Vergleich unserer Abbildung (Abb. 22b) mit dem Foto eines Schimpansenschädels (Abb. 38) mit freipräparierten Zahnkeimen von Schumacher und Schmidt (1982) lässt eine falsche Beschriftung des Fotos vermuten. Der als zweiter oberer Prämolare (P2) angegebene, freipräparierte Zahnkeim zeigt nach unserer Auffassung den dritten Molaren. Der Zahnkeim befindet sich in der Sagittalebene dorsal des bereits in Okklusion befindenden zweiten Molars. Der zweite Prämolare müsste sich in dieser Entwicklungsphase jedoch zwischen den Wurzeln des zweiten Milchmolars befinden.

Aus der Arbeit von Dirks (1998) geht hervor, dass bei *Gorilla* und *Pan* der Beginn der Kronenbildung der dritten Molaren mit der Fertigstellung der Krone der zweiten Molaren überlappt. Dies trifft nach Auswertung unserer dreidimensionalen Darstellungen (Abb. 22) auch auf *Pongo* zu. Nach den Angaben von Schumacher und Schmidt (1982) sind die Zahnkeime permanenter menschlicher Molaren im Oberkiefer mit ihrer Okklusalfäche bis zu 90° nach distal rotiert. Unsere dreidimensionalen Rekonstruktionen geben ebenfalls diese gedrehte Stellung wieder (Abb. 20). Es muss aber zwingend beachtet werden, dass die Zahnkeime

im mazerierten Knochen nicht fixiert sind und unter Umständen verrutscht sein können.

Wie die Arbeit von Winkler et al. (1991) zeigt, können die Stadien der Zahnentwicklung zwischen den Individuen mit ähnlichem chronologischen Alter oder ähnlichem Zahndurchbruchstatus variieren. Auch die hier untersuchten juvenilen Schädel zeigten unterschiedliche Durchbruchsmuster und sind ein zusätzlicher Anhaltspunkt für die schon in anderen Analysen beschriebene hohe Variabilität bezüglich des Zahndurchbruchs innerhalb der Gattung *Pongo*. Der Vergleich der Volumina von äquivalenten Zähnen des ersten und zweiten Quadranten eines Individuums ergab in dieser Untersuchung keine signifikanten Unterschiede. Ebenso fand Winkler et al. (1996) eine hohe Korrelation zwischen vielen permanenten Zähnen innerhalb eines Individuums.

Überzählige Zähne

Ein juveniler Orang-Utan Schädel fiel durch die Doppelanlage des Zahns 52 auf (Abb. 19). Zwei der untersuchten adulten Schädel wiesen einen überzähligen vierten Molar auf (Abb. 18, 39) auf.

Nach Selenka (1898-1900) tritt ein vierter Molar bei 20% der Orang-Utans und bei 8% der Gorillas auf und ist wahrscheinlich auf die stark ausgeprägten, kräftigen Kiefer zurückzuführen. Schultz (1941) fand bei 14% von 336 untersuchten adulten Schädeln einen überzähligen vierten Molar. Auch Ward et al. (1982) fanden das Fragment eines überzähligen Zahns distal des dritten Molars in der Mandibula eines Hadar-Fossils der Spezies *Australopithecus afarensis*, welches einen wichtigen Bestandteil zur Rekonstruktion der menschliche Evolution darstellt, weil es sowohl primitive als auch moderne Merkmale in sich vereint. Nach den Angaben von Brandes (1931) brechen überzählige Molaren zwischen dem 15. und 18. Lebensjahr durch.

Der von uns an einem adulten Gorillaschädel beobachtete vierte Molar wies drei Wurzeln auf, wobei die vestibulären Wurzeln in den Sinus maxillaris reichten. Bei dem adulten Orang-Utan Weibchen (Abb. 39) geht aus den DVT-Schnittbildern hervor, dass es sich bei dem vierten Molar ebenfalls um einen dreiwurzigen Zahn

handelt (Abb. 18). Die Krone erscheint im Vergleich zum mesialen Nachbarzahn (M3) verkleinert, da der mesiopalatinale Höcker sowie die distalen Höcker nicht so stark ausgeprägt sind. Das Fissurenrelief ist wie bei den anderen Molaren gut entwickelt (Abb. 39).

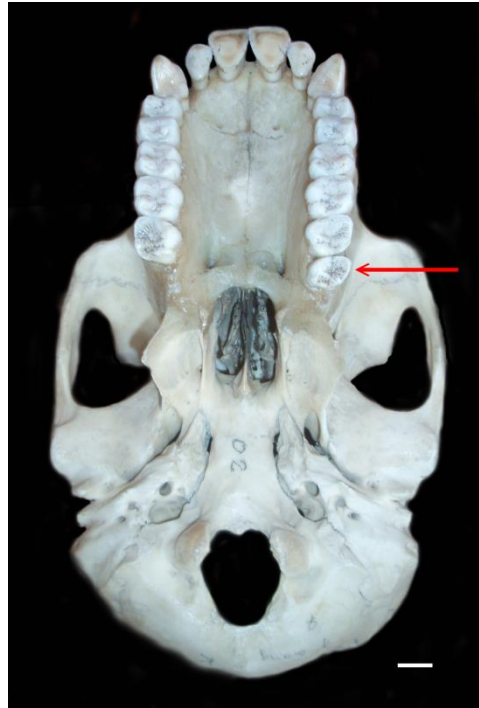


Abb. 39: Schädel eines adulten weiblichen Orang-Utans (*Pongo pygmaeus*) des Instituts für Anatomie und Zellbiologie Greifswald in der Norma basilaris. Der rote Pfeil markiert den 4. Molar (Zahn 29). Balkenlänge: 1 cm. (Foto: Autor)

Selenka (1998-1900) beschrieb die Größe und Form der vierten Molaren als sehr variabel. Sie können die gleiche Gestalt und Größe aufweisen wie die übrigen Molaren, etwas kleiner sein, stiftartig oder verkümmert. Selten weisen die überzähligen Molaren die gleiche Gestalt wie die sich mesial befindenden Molaren auf. Häufig sind sie zierlicher - wie in unserem Fall - und um ein bis zwei Höcker reduziert.

Die Tatsache, dass überzählige Zähne, insbesondere vierte Molaren, bei den großen Menschenaffen häufiger auftreten als beim Menschen, kann auch für die Beurteilung der nicht-syndromalen multiplen Zahnüberzahl beim Menschen (NSMST: non-syndromic multiple supernumerary teeth) von Interesse sein. Diese Form der Zahnüberzahl ist vergleichsweise selten und durch das Auftreten von fünf

oder mehr überzähligen Zähnen gekennzeichnet. Eine Beziehung mit anderen Syndromen besteht hierbei nicht (Alvira-González and Gay-Escoda, 2012). Im Ergebnis einer Meta Analyse berichten Alvira-González and Gay-Escoda (2012) u.a., dass NSMST durch das bilaterale Vorkommen multipler überzähliger Zähne gekennzeichnet ist. Trotz der höheren Inzidenz beim männlichen Geschlecht, konnte kein Geschlechtsdimorphismus bezüglich Gesamtanzahl und Verteilung der überzähligen Zähne im Zahnbogen nachgewiesen werden. Die Gründe für das Entstehen sind noch weitgehend unbekannt. Es existieren folgende Theorien: (1) Wiederauftreten von Merkmalen der nicht-menschlichen Primaten, deren Zahnformel mehr Zähne aufweisen kann, (2) autosomal rezessiver Erbgang, (3) Verknüpfung zum x-Chromosom, (4) lokales traumatisches Ereignis, (5) Umweltfaktoren, (6) Dichotomie des Zahnkeims und (7) Hyperaktivität der Zahnleiste. Das in unserer Studie beobachtete singuläre Auftreten überzähliger Zähne (zwei einzelne überzählige vierte Molaren bei *Pongo* und *Gorilla* sowie eine Doppelanlage des Milchzahnes 52 beim juvenilen *Pongo*) kann jedoch nicht als multiple Zahnüberzahl im Sinne der Studie von Alvira-González and Gay-Escoda (2012) gedeutet werden.

5.2. Knochendicke des Bodens des Sinus maxillaris im Bereich der Molarenwurzeln

Die Ergebnisse unserer Untersuchung zeigen, dass bei den Großen Menschenaffen die palatinalen Molarenwurzeln im Vergleich zu den vestibulären Molarenwurzeln den geringsten Abstand zum Boden des Sinus maxillaris aufweisen. Beim Orang-Utan ist eine Knochendicke von durchschnittlich 1,5 mm über den palatinalen Wurzeln der zweiten und dritten Molaren gemessen worden. Beim Gorilla beträgt der Mittelwert 2,1 mm über den palatinalen Wurzeln der ersten und dritten Molaren. Der Schimpanse weist mit einem Mittelwert von 1,2 mm über der palatinalen Wurzel des dritten Molars den kleinsten Abstand zum Kieferhöhlenboden auf. Unsere Untersuchungsergebnisse an den Schädeln der Großen Menschenaffen weichen von denen am Menschen zum Teil deutlich ab (siehe unten).

Eberhardt et al. (1992) untersuchten beim Menschen die Knochendicke zwischen den Zahnwurzelspitzen und dem Boden des Sinus maxillaris mittels CT-

Aufnahmen und zeigten, dass sich die mesiobukkale Wurzelspitze des zweiten Molars mit einem Abstand von 1,97 mm am dichtesten am Sinusboden befand und der Abstand zu der bukkalen Knochenoberfläche mit 4,45 mm größer als bei den anderen Zähnen war. Im Gegensatz dazu wies die bukkale Wurzelspitze des ersten Oberkieferprämolars die kleinste laterale Knochendicke (1,63 mm) sowie den größten Abstand zum Sinusboden (7,05 mm) auf. Diese umgekehrte Proportionalität zwischen der bukkolingualen Knochendicke und der Knochendicke über den Zahnwurzelspitzen wird auch durch die Ergebnisse der Studie von Kwak et al. (2004) bestätigt.

In der Studie von Kwak et al. (2004) mittels Computertomographie an koreanischen Schädeln war die Knochenstärke zum Boden des Sinus maxillaris im Bereich der Zahnwurzelspitzen der zweiten Molaren am dünnsten und im Bereich der ersten Prämolaren am dicksten. Im Vergleich zur Arbeit von Eberhardt et al. (1992) weist jedoch nicht die mesiobukkale Wurzelspitze des zweiten Molars, sondern die distobukkale Wurzelspitze des zweiten Molars mit einem Mittelwert von 2,74 mm den geringsten Abstand zum Sinusboden auf. Der Abstand der mesiobukkalen Wurzelspitze des zweiten Molars zum Sinusboden beträgt 2,84 mm.

Die Arbeiten von Eberhardt et al. (1992) und Kwak et al. (2004) zeigen, dass beim Menschen die Knochendicke zwischen dem Sinus maxillaris und den vestibulären Wurzeln des zweiten Molars am dünnsten ist. Bei den Großen Menschenaffen waren hingegen über den palatinalen Molarenwurzeln die kleinsten Messwerte zu finden.

Eine weitere Studie von Georgescu et al. (2012) bestätigte erneut die Ergebnisse von Eberhardt et al. (1992) und Kwak et al. (2004). Auch in dieser Arbeit wurden die dünnsten Knochenschichten über den ersten und zweiten Molaren gemessen und die dicksten über den ersten Prämolaren. Gleichzeitig nahm die Knochendichte vom ersten Prämolaren bis zum zweiten Molaren zu.

Unsere Arbeit spiegelt das Muster der Abnahme der Knochendicke von anterior nach posterior nur über den palatinalen Wurzelspitzen bei der Gattung *Pan troglodytes* wider. Unsere Messungen zeigen eine durchschnittliche Knochendicke

von 1,8 mm über den palatinalen Wurzelspitzen von P1, P2 und M1. Im Vergleich dazu beträgt die durchschnittlichen Knochendicke des Sinusbodens über M2 1,5 mm und im Bereich von M3 1,2 mm.

Bei den Gattungen *Gorilla gorilla* und *Pongo pygmaeus* konnten aufgrund der geringen Ausdehnung des Sinus maxillaris beim Gorilla nur teilweise und beim Orang-Utan nur vereinzelt Messwerte über den Prämolaren erhoben werden. Daher schlagen wir eine erneute Untersuchung vor, welche bevorzugt Tiere mit hohem Lebensalter analysiert, bei der eine Ausdehnung des Sinus maxillaris bis zu den Wurzeln der Prämolaren wahrscheinlicher ist und die Recessus stärker ausgeprägt sind, ebenso sollten die bukkolingualen Knochendicken Berücksichtigung finden.

In unserer Untersuchung hat der Schimpanse die geringste Knochendicke zwischen dem Boden des Sinus maxillaris und der palatinalen Zahnwurzelspitze des dritten Molars, gefolgt vom Orang-Utan und schließlich Gorilla. Dies lässt einen Zusammenhang mit den Schädelmaßen vermuten. Je größer der Schädel, desto größer sind die zu erwartenden Knochendicken über den Zahnwurzelspitzen. Bei *Pongo* und *Gorilla* bestehen signifikante Zusammenhänge zwischen der Gaumenbreite und der Knochendicke über der mesialen Wurzel des ersten Molars. *Pan* weist signifikante Zusammenhänge zwischen der Knochendicke über der palatinalen Wurzel des dritten Molars und Gaumenlänge, Maxilloalveolarlänge, Mittelgesichtsbreite sowie Maxilloalveolarbreite auf. Weitere Korrelationen zwischen den Knochendicken über den Wurzelspitzen und den Schädelmaßen treten nur vereinzelt auf, sodass kein Muster daraus ableitbar ist.

5.3. Wurzellänge der Molaren des Oberkiefers

Aus den Messdaten geht hervor, dass die Zahnwurzeln der Oberkiefermolaren des Schimpansen im Vergleich zum Orang-Utan und Gorilla deutlich kürzer sind. Die Mittelwerte der Wurzellängen von *Pongo* und *Gorilla* liegen unseren Untersuchungen zufolge sehr nah beieinander, der Gorilla hat jedoch tendenziell längere Wurzeln. Zu einem ähnlichen Ergebnis kommen auch Kupczik and Dean (2008) bei der Untersuchung der Wurzellänge der Unterkiefermolaren. Das entspricht auch der Studie von Kelley et al. (2009), die ebenfalls die längsten

Molarenwurzeln beim Gorilla ermittelten. Die Wurzeln von Pongo und Pan waren jedoch kürzer und annähernd gleich lang.

In unserer Untersuchung ist die distobukkale Wurzel des dritten Molars bei allen drei untersuchten Gattungen deutlich kürzer als alle anderen Wurzeln. Eine generelle Aussage, welche Wurzel bei den Pongidae die längste ist, kann von uns nicht getroffen werden. Nach Kelley et al. (2009) sind die mesialen Wurzeln von M1 und M2 bei allen drei Gattungen am längsten. Im Gegensatz dazu stellten Nambiar et al. (2013) fest, dass die palatinalen Wurzeln sowohl bei den Prämolaren als auch bei den Molaren am längsten sind. Dies kann von uns nicht bestätigt werden. Lediglich beim dritten Molar war die palatinale Wurzel länger als die mesio- und distobukkale.

Unseren Messungen zufolge sind beim Gorilla die distobukkale Wurzel des M2 sowie die palatinale Wurzel des M3 mit einem Mittelwert von jeweils 15,8 mm am längsten. Beim Schimpansen trifft dies auf die distobukkale Wurzel des M1 bei einem Mittelwert von 11,4 mm zu. Die distobukkale Wurzel des M2 des Orang-Utans ist mit einem Mittelwert von 15,4 mm am längsten. Genau diese Wurzel wies bei den Untersuchungen am Menschen von Eberhardt et al. (1992) den kleinsten Abstand zum Sinusboden auf. Die Messergebnisse von Nambiar et al. (2013) für die mesio- und distobukkalen Wurzellängen des ersten Molars sowie für die palatinale Wurzel des zweiten Molars entsprechen nahezu unseren Ergebnissen. Alle anderen Ergebnisse variieren etwas mehr, besonders die Ergebnisse der Wurzellängenmessung des dritten Molars weichen erheblich voneinander ab.

Inwiefern die oben beschriebenen Differenzen sich aus methodischen Gründen ergeben, kann hier nur vermutet werden. Bei der Arbeit von Nambiar et al. (2013) mittels DVT wurde die Schmelz-Zement-Grenze als Bezugsebene auf Höhe der Bi- bzw. Trifurkationen der Molaren parallel zur Okklusionsebene auf den Zahn projiziert. Von dieser Ebene aus wurde eine Senkrechte zur Wurzelspitze gezogen. Unsere Bezugsebene befand sich auf Höhe des anatomischen Übergangs zwischen Zahnwurzel und Zahnkrone. Die Messung zur Wurzelspitze erfolgte auch nicht senkrecht zur Bezugsebene, sondern entlang des Wurzelverlaufs. Abgesehen von methodischen Unterschieden sei darauf hingewiesen, dass die

Ergebnisse der Studie von Nambiar et al. (2013) auf der Untersuchung von lediglich zwei Schädeln von Zootieren beruhen.

Cobb and Baverstock (2009) beschreiben eine hohe Variation der Wurzellänge gleicher Zähne sowie unterschiedliche Muster der Wurzellängen innerhalb der Zahnreihe beim Schimpanse. Die von diesen Autoren beobachteten postcaninen Wurzelmuster zeigten sowohl Zahnreihen mit relativ gleich langen Wurzeln, Zahnreihen mit relativ langen Wurzeln der anterioren Zähne als auch Zahnreihen mit nach distal abnehmender Wurzellänge. In der hier vorliegenden Arbeit ist eine deutliche Abnahme der distalen Wurzellänge im Vergleich zur mesialen Wurzellänge des dritten Molars in 7 von 14 Fällen beim Schimpanse zu erkennen. In nur einem Fall steigt die Wurzellänge wieder an. Somit ist die distale Wurzel des dritten Molars beim Schimpanse bis auf wenige Ausnahmen deutlich kürzere.

Moore et al. (2013) untersuchten die Prämolarenwurzeln beim Schimpanse. Die Mittelwerte der Wurzellängen entsprechen annähernd den Messergebnissen unserer Untersuchung. So beträgt beispielsweise der Mittelwert der distobukkalen Wurzel des ersten Prämolars in der Arbeit von Moore et al. (2013) 12,73 mm und in dieser Arbeit 12,63 mm.

In unserer Untersuchung wies von den sieben untersuchten Schimpansenschädeln ein Exemplar einwurzlige Prämolaren auf. Emonet and Kullmer (2011) berichten ebenfalls über ein Tier mit einem einwurzligen ersten Prämolaren. Auch Kupczik and Dean (2008) beschrieben eine große Variation bei den Prämolarenwurzeln, welche von ein- bis dreiwurzig reicht. Bei den Untersuchungen von Moore et al. (2013) wies jedoch keiner der Prämolaren nur eine Wurzel auf.

Von den hier untersuchten ersten Prämolaren waren 57,1% zweiwurzig und 28,6% dreiwurzig. Der zweite Prämolar war zu 58,3% zweiwurzig und zu 25% dreiwurzig. Dies entspricht Angaben von Shields (2000), welcher ebenfalls häufiger zweiwurzlige Prämolaren beobachtete. Bei Moore et al. (2013) waren die Oberkieferprämolaren des Schimpansen hingegen überwiegend dreiwurzig und nur zum geringen Anteil zweiwurzig.

Die Korrelationsanalyse zwischen den Längen der einzelnen Zahnwurzeln der von uns untersuchten Pongiden mit den verschiedenen Schädelmaßen zeigte deutliche Speziesunterschiede (vgl. Tab. 15). Zunächst fiel auf, dass der Schimpanse die größte Zahl an signifikanten Korrelationen aufwies, gefolgt vom Orang-Utan und dem Gorilla. Darüber hinaus ergaben sich aus der Analyse spezies-spezifische Korrelationen. Lediglich die palatinale Wurzellänge des zweiten oberen Molars korrelierte sowohl beim Orang-Utan als auch beim Schimpansen mit der Maxilloalveolarbreite und der Mittelgesichtsbreite. Hinsichtlich der Schädelmaße wies der Schimpanse eine weitere Besonderheit auf, weil bei dieser Spezies nur signifikante Korrelationen zwischen den Längen der Zahnwurzeln und den Breitenmaßen des Schädels nachweisbar waren (Tab. 15).

Die hier aufgezeigten Zusammenhänge verdeutlichen, dass sich aus den spezies-spezifischen Unterschieden keine für alle Pongiden zutreffenden Muster ableiten lassen. Dieser Sachverhalt sollte in weiterführenden Studien erneut einer gründlichen Analyse, auch unter Berücksichtigung biomechanischer Aspekte unterzogen werden.

Vorangegangene Studien an Ratten und Pavianen mit experimentell verkürzten Gesichtsschädeln (Riesenfeld, 1970; Siegel, 1972) und der Vergleich von lang- und kurzschnäuzigen Hunderassen (Riesenfeld and Siegel, 1970) zeigten Zusammenhänge zwischen Zahnwurzellänge der Molaren und Gesichtsschädellänge. Dies konnte in dieser Arbeit nur beim Gorilla für die palatinale Wurzellänge des dritten Molars herausgearbeitet werden, die ebenfalls mit der Gesichtsschädellänge korrelierte (s. Tab. 15). Die Studie von Cobb and Baverstock (2009) an Schimpansenschädeln zeigte hingegen Korrelationen der Zahnwurzellänge der Molaren mit der Gesichtsschädelhöhe, jedoch nicht –länge. In unserer Arbeit konnte beim Schimpansen hingegen kein Zusammenhang zwischen Zahnwurzellänge und Obergesichtshöhe nachgewiesen werden. Im Gegensatz dazu korrelierte die Obergesichtshöhe beim Orang-Utan mit den Längen der mesialen und distalen Wurzel des dritten Molars und beim Gorilla mit der palatinalen Wurzel des dritten Molars.

Ward et al. (1982) beschäftigten sich mit anatomischen Untersuchungen von Kieferfragmenten fossiler Hominiden aus Afar (1974 bis 1977). In ihrer Studie weisen sie auf eine Kombination von Merkmalen des modernen Menschen sowie der Primaten hin. Die Vermessung der Zahnwurzellängen der ersten und zweiten Oberkiefermolaren ergab, dass die palatinalen Wurzeln signifikant größer als die bukkalen Wurzeln sind. Von den bukkalen Wurzeln ist die distobukkale die größere. Beim M3 dominiert ebenfalls die palatinale Wurzel, hier findet jedoch ein Wechsel der zuvor bei M1 und M2 beobachteten bukkalen Wurzeldominanz statt: die distobukkale Wurzel ist kleiner als die mesiobukkale. Ward et al. (1982) vermuten, dass diese Veränderung mit der Reduzierung der transversalen Breite des Alveolarkamms in diesem Bereich zusammenhängt. Das Muster der Zahnwurzellängen der *Hadar-Fossilien* (Ward et al., 1982) spiegelt sich nicht bei den Großen Menschenaffen wider. Bei den hier untersuchten Pongidae ist keine Dominanz der palatinalen Wurzel feststellbar. Eine Gemeinsamkeit mit den *Hadar-Fossilien* besteht dennoch: die distobukkale Wurzel des M3 ist auch bei den Pongidae die kürzeste.

Die von uns ermittelten Befunde können möglicherweise auch für die Diskussion des miozänen Fossils *Ankarapithecus meteai* von Interesse sein. Die Einordnung von *Ankarapithecus meteai* ist immer noch umstritten. Während Begun and Güleç (1998) eine deutliche Nähe zur Gruppe von Sivapithecus und Orang-Utan diskutieren, schlagen Alpagut et al. (1996) vor, dieses Fossil als ein Stammfossil der Hominoiden zu betrachten. Die Untersuchung von Begun and Güleç (1998) zeigen bei *Ankarapithecus meteai* palatinal stärkere und robustere Wurzeln, wie bei den bereits oben erwähnten *Hadar-Fossilien*. Zudem sind bei *Ankarapithecus meteai* die Wurzeln des M2 deutlich länger als die des M1. Der M3 weist die längsten Wurzeln auf. Somit nimmt die Wurzellänge entlang der Zahnreihe von anterior nach posterior zu. Dies ist bei den Pongiden genau umgekehrt. Die längsten Wurzeln befinden sich im Prämolarenbereich, nach posterior nimmt die Länge der Wurzeln ab. Somit finden sich bezüglich der Wurzellänge der Molaren keine Gemeinsamkeiten zwischen *Ankarapithecus meteai* und den Pongiden, jedoch zu den *Hadar-Fossilien*.

5.4. Projektion von Wurzelspitzen in den Sinus maxillaris

Unsere Untersuchungen deuten darauf hin, dass die Wurzelspitzen bei den Menschenaffen stärker in den Sinus hineinragen als beim Menschen. Eine mögliche Ursache für diesen Befund ist die stärker ausgeprägte Pneumatisation des Sinus maxillaris bei den Pongiden. Diese stärkere Pneumatisation spiegelt sich auch in der Zahl der Zähne wider, die den Sinusboden penetrieren. So berichten Sharan and Madjar (2006), dass beim Menschen die Wurzeln des zweiten Prämolars sowie des ersten und zweiten Molars in den Sinus maxillaris hineinragen. Demgegenüber fanden wir in unserem Untersuchungsgut, dass zusätzlich zu der von Sharan and Madjar (2006) beschriebenen Situation regelmäßig auch Wurzeln des ersten Prämolars und des dritten Molars in die Kieferhöhle hineinragen.

Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass nicht alle Wurzeln der Prämolaren und Molaren den Kieferhöhlenboden penetrieren. Deshalb haben wir auch den prozentualen Anteil der Zahnwurzeln, welche den Boden der Kieferhöhle aufwerfen, näher betrachtet. Vergleichbare Untersuchungen am Menschen sind in der Literatur kaum zu finden. Aus den Untersuchungen von Eberhardt et al. (1992) geht hervor, dass beim Menschen lediglich 5% der Zahnwurzeln den Kieferhöhlenboden aufwerfen. Beim Vergleich dieses Befundes mit den Ergebnissen der vorliegenden Studie, zeigt sich, dass abgesehen von der Anzahl der Zähne auch ein deutlich größerer Anteil der Zahnwurzeln bei den Menschenaffen den Kieferhöhlenboden penetriert.

In unserem Untersuchungsgut ragen beim Schimpansen 40,5% der untersuchten Molarenwurzeln in den Sinus maxillaris. Daraus resultiert eine starke Zerklüftung des Kieferhöhlenbodens (Abb. 32). Nach McCollum and Ward (1997) nimmt beim Schimpansen die Ausprägung des Reliefs mit zunehmenden Alter zu. Bei den von uns untersuchten Gorillaschädeln penetrieren 18,1% der Oberkieferseitenzahnwurzeln den Sinus maxillaris. Bei einem Vertreter der Gattung reichte der erste Prämolar (1,1 mm) und bei einem anderen - als Besonderheit - der vierte Molar (3,3 mm mesiobukkal, 5,7 mm distobukkal) mit den Wurzelspitzen in das Kieferhöhlenlumen. Bei den Orang-Utan Schädeln ragen hingegen nur 16,6% aller

Oberkieferseitenzahnwurzeln in den Sinus maxillaris hinein. Im Verhältnis zur Gesamtanzahl der untersuchten Schädel ragten bei Orang-Utan wesentlich weniger Prämolarenwurzeln in den Sinus im Vergleich zu Gorilla und Pan. So drangen keine vestibulären Wurzeln des ersten und zweiten Prämolars sowie des ersten Molars bis in den Sinus vor. Nur die palatinale Wurzel des zweiten Prämolars (3,2 mm) und des ersten Molars (1,3 mm) reichte in das Sinuslumen. Inwiefern bei den Menschenaffen der größere prozentuale Anteil der Zähne, die den Kieferhöhlenboden aufwerfen, ein Resultat der stärkeren Pneumatisation des Sinus maxillaris ist, lässt sich zurzeit nicht mit Sicherheit feststellen.

Krapf (2015) beschäftigte sich mit der Ausdehnung des Recessus alveolaris des Sinus maxillaris bei den höheren Primaten. Ihre Untersuchungen an Alt- und Neuweltaffen zeigen einen signifikanten Zusammenhang zwischen der Größe des Volumens der Kieferhöhle und den Volumina des Recessus alveolaris. Darüber hinaus berichtet Krapf (2015), dass die Größe des Recessus alveolaris der Kieferhöhle mit zahlreichen Schädelmaßen, insbesondere auch mit den Gaumenmaßen korreliert. Über ähnliche Zusammenhänge äußerten sich auch Koppe et al. (2005) nach Untersuchungen am Menschen. Zusammen mit Ward et al. (1982) vermuten Koppe et al. (2005) aber auch, dass das Volumen der Kieferhöhle und das Ausmaß des Eindringens in den Processus alveolaris der Maxilla eher eine Funktion der Körpergröße ist. Letzteres wird durch unsere Untersuchungsergebnisse allerdings nicht bestätigt. *Pan* weist bei kleinerer Körpergröße eine ausgeprägtere Recessusbildung auf als *Gorilla* und *Pongo*.

6. Schlussfolgerungen

Unter Bezugnahme auf die in der Einleitung formulierten Ziele dieser Arbeit lassen sich folgende Schlussfolgerungen ableiten:

1. Die ermittelten Volumina der Milchzähne und der Zahnkeime der permanenten Zähne beim juvenilen Orang-Utan korrelieren mit Gesichtsschädellänge, Gaumenlänge, Maxilloalveolarlänge und Mittelgesichtsbreite. Mit Ausnahme des Zahnkeims M2 konnten wir ebenfalls eine Korrelation mit der Gesamtschädellänge und die Obergesichtshöhe nachweisen.
2. Bei adulten Schädeln der Spezies *Pongo pygmaeus*, *Gorilla gorilla* und *Pan troglodytes* befindet sich die dünnste Knochenschicht zwischen dem Sinus maxillaris und den palatinalen Wurzelspitzen der Oberkiefermolaren. Beim Orang-Utan beträgt der Wert 1,5 mm über der palatinalen Wurzel von M2 und M3, beim Gorilla 2,1 mm über der palatinalen Wurzel von M1 und M3 sowie beim Schimpansen 1,2 mm über der palatinalen Wurzel von M3. Beim Schimpansen ist die Knochenschicht zwischen Sinus maxillaris und den Zahnwurzeln im Vergleich zu den anderen Gattungen am dünnsten.

Die Beziehung zwischen Sinus maxillaris und den Zahnwurzelspitzen der Prämolaren konnte aufgrund der Ausdehnung der Kieferhöhle beim Orang-Utan nicht analysiert werden. Beim Schimpansen beträgt die Knochendicke des Bodens des Sinus maxillaris über der palatinalen Wurzelspitze des ersten und zweiten Prämolars durchschnittlich 1,8 mm. Der Gorilla weist über der palatinalen Wurzel von P1 eine Knochendicke von durchschnittlich 3,0 mm auf.

3. Die Analyse der Korrelationen zwischen ausgewählten Schädelmaßen und der Knochendicke zwischen dem Sinus maxillaris und den Zahnwurzelspitzen der Oberkieferseitenzähne lässt kein klares Muster bei den hier untersuchten Pongiden erkennen.
4. Bei adulten Schädeln der Spezies *Pongo pygmaeus*, *Gorilla gorilla* und *Pan troglodytes* ist die distobukkale Wurzel des dritten Molars kürzer als alle anderen Molarenwurzeln. Eine generelle Aussage, welche Wurzel der Pongiden die längste ist, kann jedoch nicht getroffen werden.

5. Diese Arbeit zeigt ein Verfahren auf, welches erlaubt die Zahnwurzeln der Maxilla sowie deren Relation zum Kieferhöhlenboden präzise zu vermessen und anschließend morphologisch zu beschreiben. Darüber hinaus ermöglicht sie nicht nur einen anatomischen Vergleich innerhalb der Spezies der Großen Menschenaffen, sondern auch zum Menschen und fossilen Funden. Das kann in neuen Studien hilfreich sein, fossile Funde phylogenetisch besser einzuordnen. Weiterführende Studien müssen klären, inwiefern Unterschiede zu Untersuchungsergebnissen anderer Autoren das Resultat spezifischer Wachstumsvorgänge oder das Ergebnis intraspezifischer Variationen sind.

7. Zusammenfassung

Das Ziel der vorliegenden Studie bestand darin, die Beziehungen der Zahnwurzeln der oberen Prämolaren und Molaren zum Sinus maxillaris bei den Großen Menschenaffen vergleichend-anatomisch zu untersuchen. Dabei wurden für den Orang-Utan auch Wachstumsveränderungen berücksichtigt. Für diese Arbeit standen 26 adulte Schädel der Gattungen *Pongo pygmaeus*, *Gorilla gorilla* und *Pan troglodytes* sowie 13 infantile und juvenile Schädel der Gattung *Pongo pygmaeus* zur Verfügung. Das biologische Alter der Tiere zum Zeitpunkt des Todes war unbekannt. An den Schädeln wurden zunächst definierte Längen-, Breiten- und Höhenmaße erhoben.

Von den Schädeln wurden DVT-Datensätze mit dem Digitalen Volumentomographen QR-DVT 9000 (NewTom Verona, Italien) angefertigt. An den DVT-Datensätzen wurden zunächst mit Hilfe der NewTom 3G Software (QR NNT 2.11 Professional) lineare Messungen der Zahnwurzellängen der Prämolaren und Molaren des Oberkiefers sowie der Knochendicke zwischen den Zahnwurzeln und dem Boden des Sinus maxillaris vorgenommen. Außerdem wurden die im DICOM-Format vorliegenden Schichtserien in das JPEG-Format umgewandelt. Anhand dieser Datensätze wurden die Zahnkeime der permanenten Zähne unter Verwendung von SURFdriver® dreidimensional rekonstruiert und deren Volumina bestimmt. Die erhobenen Daten wurden mit Hilfe nicht parametrischer Verfahren analysiert und untereinander in Beziehung gesetzt.

Die Untersuchungen zur Entwicklung der permanenten Zähne des Orang-Utans zeigten zu Beginn eine ausgeprägte Volumenzunahme der Zahnkeime des ersten Inzisivus und des ersten Molars. Der Durchbruch des ersten Molars erfolgte als erstes. Zu diesem Zeitpunkt begann die Resorption an den mittleren Milchschnidezähnen. Dem Wechsel der Inzisivi ging meist der Durchbruch des zweiten Molars voraus. Desweiteren überlappte der Beginn der Kronenbildung des dritten Molars mit der Fertigstellung der Krone des zweiten Molars.

Beim Orang-Utan weisen die Volumina der permanenten Zahnkeime einen signifikanten Zusammenhang mit der Gesichtsschädellänge, Gaumenlänge, Maxilloalveolarlänge und der Mittelgesichtsbreite auf. Mit Ausnahme des

Zahnkeims des zweiten Molars konnte ebenfalls eine Korrelation mit der Gesamtschädellänge und der Obergesichtshöhe nachgewiesen werden.

Der Abstand zwischen den Zahnwurzelspitzen und dem Sinus maxillaris war bei allen drei untersuchten Gattungen *Pongo*, *Gorilla* und *Pan* über den palatinalen Wurzeln der Molaren am kleinsten. Die Knochendicke über den Zahnwurzeln des Schimpansen ist im Vergleich zu den anderen Gattungen am dünnsten. Darüber hinaus konnte bei *Pan troglodytes* eine Abnahme der Knochendicke über den palatinalen Wurzelspitzen von anterior nach posterior nachgewiesen werden.

Bezüglich der Wurzellängen zeigten unsere Untersuchungen, dass bei allen drei Gattungen die distobukkale Wurzel des dritten Molars die kürzeste war. Die Mittelwerte der Wurzellängen von *Pongo* und *Gorilla* lagen sehr nah beieinander, der Gorilla hatte jedoch tendenziell längere Wurzeln. Die kürzesten Zahnwurzeln wies der Schimpanse auf.

Bei den Pongiden besteht eine enge topographische Beziehung der Zahnwurzeln der Oberkiefermolaren zum Sinus maxillaris. Besonders bei *Pan* bilden sich tiefe Recessus der Kieferhöhle zwischen den Zahnwurzeln aus. Beim Schimpansen ragen 40,5% der Molarenwurzeln in den Sinus maxillaris, beim *Gorilla* hingegen nur 18,1% und bei *Pongo* 16,6%.

Als Zufallsbefund stellten sich drei überzählige Zähne dar. Dabei handelte es sich um eine Doppelanlage des lateralen Milchschnidezahns eines juvenilen Orang-Utans, sowie um vierte Molaren bei einem Orang-Utan Weibchen und einem Gorilla Männchen.

Die hier vorgestellten Untersuchungsergebnisse erweitern die Kenntnisse über die Beziehungen der seitlichen Oberkieferzähne und dem Sinus maxillaris bei den Großen Menschenaffen. Damit bilden sie eine Grundlage für Studien an unterschiedlichen menschlichen Populationen sowie weiteren nicht-menschlichen Primaten.

8. Literaturverzeichnis

Adler J: Foto eines *Gorilla gorilla* [Online im Internet:] URL: <http://www.pixelio.de/media/351344> [Stand: 21.07.2012, 23:13].

Aiello L, Dean C: An Introduction to Human Evolutionary Anatomy. Academic Press, London, 1990.

Alpagut B, Andrews P, Fortelius M, Kappelman K, Temizsoy I, Çelebi H, Lindsay W: A new specimen of *Ankarapithecus meteai* from the Sinap formation of central Anatolia. Nature 382: 349–351, 1996.

Alt KW, Türp JC: Die Evolution der Zähne: Phylogenie – Ontogenie – Variation. Quintessenz, Berlin, 1997.

Alvira-González J, Gay-Escoda C: Non-syndromic multiple supernumerary teeth: meta-analysis. J Oral Pathol Med 41: 361-366, 2012.

Anemone RL, Mooney MP, Siegel MI: Longitudinal study of dental development in chimpanzees of known chronological age: implications for understanding the age at death of Plio-Pleistocene hominids. Am J Phys Anthropol 99: 119-133, 1996.

Anemone RL, Watts ES: Current events. Dental development in apes and humans: a comment on Simpson, Lovejoy and Meindl (1990). J Hum Evol 22: 149-153, 1992.

Anemone RL, Watts ES, Swindler DR: Dental development of known-age chimpanzees, *Pan troglodytes* (Primates, Pongidae). Am J Phys Anthropol 86: 229-241, 1991.

Ankel F: Einführung in die Primatenkunde. Grundbegriffe der modernen Biologie, Bd. 6. G. Fischer, Stuttgart, 1970.

Arlt T: Vergleichende Anatomie des menschlichen Gebisses und die Zähne der Vertebraten (Wirbeltiere) In: Arlt T (Ed.) Die Stammesgeschichte der Primaten und die Entwicklung der Menschenrassen. A. Hirschwald, Berlin, 1915. pp. 28-30.

Begun DR, Güleç E: Restoration of the type and palate of *Ankarapithecus meteai*: Taxonomic and phylogenetic implications. Am J Phys Anthropol 105: 279-314, 1998.

Bennejeant C: La chronologie de la dentition chez les anthropoids. Mammalia 4: 4-45, 1940.

Beynon AD, Dean MC, Reid DJ: Histological study on the chronology of the developing dentition in Gorilla and Orangutan. Am J Phys Anthropol 86: 189-203, 1991a.

Beynon AD, Dean MC, Reid DJ: On thick and thin enamel in hominoids. Am J Phys Anthropol 86: 295-309, 1991b.

Biegert J: Der Formwandel des Primatenschädels und seine Beziehungen zur ontogenetischen Entwicklung und den phylogenetischen Spezialisierungen der Kopforgane. Gegenbauers Morphol Jahrb 98: 77-199, 1957.

Blaney SPA: Why paranasal sinuses? J Laryngol Otol 104: 690-693, 1990.

Boenig H, Bertolini R: Leitfaden der Entwicklungsgeschichte des Menschen. Thieme, Leipzig, 1967.

Bolk L: Die Ontogenie der Primatenzähne. Fischer, Jena, 1913.

Brandes G: Wie alt wird der Orang-Utan?. Zool. Gart. 4: 1-9, 1931.

Bühl A, Zöfel P: SPSS Version 10. Einführung in die moderne Datenanalyse unter Windows. Addison-Wesley, München, 2000.

Cave AJE, Haines RW: The paranasal sinuses of the anthropoid apes. J Anat 74: 493-523, 1940.

Clements EMB, Zuckerman S: The order of eruption of the permanent teeth in the hominoidea. Am J Phys Anthropol 11: 313-332, 1953.

Conroy GC: Primate Evolution. W. W. Norton & Company, New York, 1990. pp. 34-38.

Conroy GC, Vannier MW: Dental development in South African Australopithecines. Part II: Dental stage assessment. *Am J Phys Anthropol* 86: 137-156, 1991.

Copp SN, Baverstock H: Tooth root and craniomandibular morphological integration in the common chimpanzee (*Pan troglodytes*): alternative developmental models for the determinants of root length. In: Koppe T, Meyer G, Alt KW (Eds.): *Comparative Dental Morphology*. Front Oral Biol. Vol. 13, Karger, Basel, 2009. pp. 121-127.

Dean C: Progress in understanding hominoid dental development. *J Anat* 197: 77-101, 2000.

Dean C, Leakey MG, Reid D, Schrenk F, Schwartz GT, Stringer C, Walker A: Growth processes in teeth distinguish modern humans from *Homo erectus* and earlier hominins. *Nature* 414: 628-631, 2001.

Dean MC: The dental developmental status of six East African juvenile fossil hominids. *J Hum Evol* 16: 197-213, 1987.

Dean MC: A radiographic and histological study of modern human lower first permanent molar root growth during the supraosseous eruptive phase. *J Hum Evol* 53: 635-646, 2007.

Dean MC, Cole TJ: Human life history evolution explains dissociation between the timing of tooth eruption and peak rates of root growth. *PLoS ONE* 8 (1): e 54534. 2013.

Dean MC, Wood BA: Developing pongid dentition and its use for aging individual crania in comparative cross-sectional growth studies. *Folia Primatol.* 36: 111-127, 1981.

Dirks W: Histological reconstruction of dental development and age at death in juvenile gibbon (*Hylobates lar*). *J Hum Evol* 35: 411-425, 1998.

Dirks W: Effect of diet on dental development in four species of catarrhine primates. *Am J Primatol* 61: 29-40, 2003.

Eberhardt JA, Mahmoud T, Christiansen EL: A computed tomographic study of the distances between the maxillary sinus floor and the apices of the maxillary posterior teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 73: 345-346, 1992.

Emonet EG, Kullmer O: Variability of the number of roots in a single biological population of *Pan troglodytes verus*. In: Annual meeting of the European Society for the study of Human Evolution. Leipzig, 2011.

Emonet EG, Tafforeau P, Chaimanee Y, Guy F, de Bonis L, Koufos G, Jaeger JJ: Three-dimensional analysis of mandibular dental root morphology in hominoids. *J Hum Evol* 62: 146-154, 2012.

Fanghänel J: Der Einfluss formgestaltender Faktoren auf das postnatale Wachstum mit besonderer Berücksichtigung der Statik. Med Diss B, Rostock, 1974.

Fleagle, JG: Primate adaption and evolution. Academic Press, New York, 1999.

Fooden J, Izor RJ: Growth curves, dental emergence norms, and supplementary morphological observations in known-age captive orangutans. *Am J Primatol* 5: 285-301, 1983.

Fouts R: Unsere nächsten Verwandten: von Schimpansen lernen, was es heißt, ein Mensch zu sein. Limes, München, 1998.

Gaul G: Über die Wachstumsveränderungen am Gehirnschädel des Orang-Utan. Med Diss, Stuttgart, 1933.

Geissmann T: Vergleichende Primatologie. Springer, Berlin, 2003.

Georgescu CE, Rusu MC, Sandulescu M, Enache AM, Didilescu AC: Quantitative and qualitative bone analysis in the maxillary lateral region. *Surg Radiol Anat* 34: 551-558, 2012.

Greiner E: Zur Entwicklungsgeschichte des Gebisses von *Tarsius spectrum*. *J Anat Embryol* 89: 102-122, 1929.

Haugk D: Foto eines *Pongo pygmaeus* [Online im Internet:] URL: <http://www.pixelio.de/media/336229> [Stand: 21.07.2012, 23:08].

James WW: The Jaws and Teeth of Primates. Pitman Medical Publishing, London, 1960.

Janßen U: Foto eines *Pan troglodytes* [Online im Internet:] URL: <http://www.pixelio.de/media/351607> [Stand: 21.07.2012, 23:17].

Kelley J, Dean MC, Ross S: Root growth during molar eruption in extant great apes. In: Koppe T, Meyer G, Alt KW (Eds.): Comparative Dental Morphology, Front Oral Biol. Vol.13, Karger, Basel, 2009. pp. 128-133.

Kelley J, Smith TM: Age at first molar emergence in early Miocene *Afropithecus turkanensis* and life-history evolution in the Hominoidea. J Hum Evol 44: 307-329, 2003.

Kelley J, Schwartz GT: Dental development and life history in living African and Asian apes. Proc Natl Acad Sci U S A 107: 1035-1040, 2010.

Kahumbu P, Eley RM: Teeth emergence in wild olive baboons in Kenya and formulation of a dental schedule for aging wild baboon populations. Am J Primatol 23: 1-9, 1991.

Kopp S: Digitale Volumentomographie. Die präzise Darstellung dentaler Strukturen. Beilage in „Der Freie Zahnarzt“ Band 55, Heft 3, Springer, Heidelberg, 2011.

Koppe T, Nakatsukasa M, Yamanaka A: Implication of craniofacial morphology for the pneumatization pattern of the human alveolar process. Acta Med Lituanica 12: 40-46, 2005.

Koppe T, Rae TC: Factors influencing the pneumatization of the alveolar process in macaques. In Brook E (Ed.) Dental Morphology. Sheffield Academic Press, Sheffield, 2001. pp. 267-276.

Koppe T, Swindler DR: Metric sexual dimorphism in the deciduous teeth of Old World monkeys. *Ann Anat* 186: 367-374, 2004

Krapf RM: Zur Pneumatisation des Processus alveolaris der Anthropea – eine biometrische Studie. Med. Diss., Greifswald, 2015.

Krogman WM: The eruption of the teeth in anthropoids and old world apes. *Am J Anat* 46: 303-313, 1930.

Kupczik K, Dean MC: Comparative observations on the tooth root morphology of *Gigantopithecus blacki*. *J Hum Evol* 54: 196-204, 2008.

Kupczik K, Olejniczak AJ, Skinner MM, Hublin J-J: Molar crowns and root size relationship in anthropoid primates. In: Koppe T, Meyer G, Alt KW (Eds.) *Comparative Dental Morphology*, Front Oral Biol. Vol.13, Karger, Basel, 2009. pp. 16-22.

Kwak HH, Park HD, Yoon HR, Kang MK, Koh KD, Kim HJ: Topographic anatomy of the inferior wall of the maxillary sinus in Koreans. *Int J Oral Maxillofac Surg* 33: 382-388, 2004.

Lehmann KM, Hellwig E: Zahnärztliche Propädeutik. 9. Auflage, Urban & Fischer, München, 2002.

Lieberman DE: The Evolution of the Human Head. The Belknap Press, Cambridge, 2011.

Lundberg JO, Farkas-Szallasi T, Weitzberg E, Rinder J, Lidholm J, Anggaard A, Hokfelt T, Lundberg, JM, Alvin K: High nitric oxide production in human paranasal sinuses. *Nature Med* 1: 370-373, 1995.

MacKinnon J: The behavior and ecology of wild orangutans (*Pongo pygmaeus*). *Anim Behav* 22: 3-74, 1974.

Marks SH, Cahill DR: Experimental study in the dog of the non- active role of the tooth in the eruptive process. *Arch Oral Biol* 29: 311-322, 1984.

McCollum MA, Ward SC: Subnasalveolar anatomy and hominoid phylogeny: Evidence from comparative ontogeny. *Am J Phys Anthropol* 102: 377-405, 1997.

Moggi-Cecchi J: Questions of growth. *Nature* 414: 595-597, 2001.

Moore NC, Skinner MM, Hublin JJ: Premolar root morphology and metric variation in *Pan troglodytes verus*. *Am J Phys Anthropol* 150: 632-646, 2013.

Morris D, Parker S: Die Welt der Menschenaffen. National Geographic, Hamburg, 2010.

Moss ML, Greenberg SN: Functional cranial analysis of the human maxillary bone: I, Basal bone. *Angle Orthod* 37: 151-164, 1967.

Moss ML, Young RW: A functional approach to craniology. *Am J Phys Anthropol* 18: 281-292, 1960.

Nambiar P, John J, Al-Amery SM, Purmal K, Chai WL, Ngeow WC, Mohamed NH, Vellayan S: Quantification of the dental morphology of Orangutans. *ScientificWorldJournal* Nov 18: 2013: 213757. Doi 10.1155/2013/213757. eCollection 2013.

Nanci A: Ten Cate's Oral Histology. 8th ed. Elsevier Mosby, St. Louis, 2013.

Negus V: The comparative anatomy und physiologie of the nose and paranasal sinuses. E. & S. Livingstone, Edinburgh, 1958.

Pasler FA: Zahnärztliche Radiologie. Thieme, Stuttgart, 2008.

Rajab LD, Hamdan MA: Supernumerary teeth: review of the literature and a survey of 152 cases. *Int J Paediatr Dent*. 12: 244-54, 2002.

Ramirez-Rozzi F: Enamel microstructure in hominids: New characteristics for a new paradigm. In: Minugh-Purvis N, McNamara KJ (Eds.) *Human Evolution through Developmental Change*. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, 2002. pp. 319-348.

Reckzeh F: Vergleichende biometrische Untersuchungen zum Wachstum des Gesichtsschädels der Faszikularisgruppe der Makaken. *M. fuscata*, *M. mulatta* und *M. fascicularis*. Med. Diss, Greifswald, 2011.

Rhys Evans Ph: The paranasal sinuses and other enigmas: An aquatic evolutionary theory. *J Laryngol Otol*: 106: 214-225, 1992.

Ribeiro MM, De Andrade SC, De Souza AP, Line SRP: The role of modularity in the evolution of primate postcanine dental formula: integrating jaw space with patterns of dentition. *Anat Rec* 296: 622-629, 2013.

Riesenfeld A: The effect of environmental factors on tooth development: an experimental investigation. *Acta Anat* 77: 188-215, 1970.

Riesenfeld A, Siegel MI: The relationship between facial proportions and root length in the dentition of dogs. *Am J Phys Anthropol* 33: 429-432, 1970.

Röhler-Ertl O: Über die Nomenklatur des Orang-Utan (*Pongo satyrus*, Linnaeus, 1758). Eine Information. *Säugetierkundliche Mitteilungen* 38: 53-90, 1996.

Rosenbauer KA, Engelhardt JP, Koch H, Stüttgen U: Klinische Anatomie der Kopf- und Halsregion für Zahnmediziner. G. Thieme, Stuttgart, 1998.

Röttgen D: Foto eines *Pongo abelii*. [Online im Internet:] URL: <http://www.pixelio.de/media/451544> [Stand: 21.07.2012, 23:04].

Sadler TW: Medizinische Embryologie: Die normale menschliche Entwicklung und ihre Fehlbildungen. Thieme, Stuttgart, 1998.

Schopf P: Curriculum Kieferorthopädie: Band 1. 4. Aufl. Quintessenz, Berlin, 2008.

Schultz AH: Growth and development of the orang-utan. *Contrib Embryol Carnegie Inst* 29 : 57-110, 1941.

Schumacher GH: Der maxillo-mandibuläre Apparat unter dem Einfluss formgestaltender Faktoren. Abhandlungen der Deutschen Akademie der Naturforscher Leopoldina. Band 33 (Nr. 182). J.A. Barth, Leipzig, 1968.

Schumacher GH: Anatomie für Zahnmediziner: Lehrbuch und Atlas. 3. Aufl. Hüthig, Heidelberg, 1997.

Schumacher GH, Schmidt H: Anatomie und Biochemie der Zähne. 3. Aufl. VEB Verlag Volk und Gesundheit, Berlin, 1982.

Selenka E: Studien über Entwicklungsgeschichte der Tiere. Zweiter Band: Menschenaffen: Studien über Entwicklung und Schädelbau. C. W. Kreidels Verlag, Wiesbaden, 1898-1900. pp. 1-91, 93-160.

Sharan A, Madjar D: Correlation between maxillary sinus floor topography and related root position of posterior teeth using panoramic and cross-sectional computed tomography imaging. Int J Oral Maxillofac Radiol 102: 375-381, 2006.

Shields ED: Chimpanzees as an outgroup for the examination of human dental evolution. J Cran Genet Dev Biol 20: 1-9, 2000.

Siegel MI: The relationship between facial protrusion and root length in the dentition of baboons. Acta Anat 83: 17-29, 1972.

Smith BH: Dental development as a measure of life history in primates. Evol 43 (3): 683-688, 1989.

Smith BH, Crummett TL, Brandt KL: Ages of eruption of primate teeth: a compendium for aging individuals and comparing life histories. Yrbk Phys Anthropol 37: 177-231, 1994.

Spencer MA: Tooth-root form and function in platyrrhine seed-eaters. Am J Phys Anthropol 122: 325-335, 2003.

Spitzer WJ, Müller-Richter U: Diagnostik durch aktuelle bildgebende Verfahren. In: Horch HH (Ed.): Mund-Kiefer-Gesichtschirurgie. 4. Aufl. Urban und Fischer, München, 2007. pp. 2-9.

Stein E, Willer A: Kraniometrische Untersuchungen am Gaumengewölbe der Anthropoiden in verschiedenen postnatalen Altersstufen. Med Diss, Rostock, 1990.

Stratil Z, Schmid P: Ontogenese des Gorillaschädels. Arch Suiss Anthropol Gen 48: 13-24, 1984.

Suenaga Y: Comparative anatomical study on paranasal sinuses, with special references to the pneumatization mechanism. Acta Anat Nipp 55: 551-572, 1980.

Süßenbach, S: DVT- digitale Volumentomografie. Zahnarzt Wirtschaft Praxis 4: 34, 2013.

Swindler DR: Introduction to the Primates. University of Washington Press, Washington, 1998. pp. 111-123.

Swindler DR: Primate Dentition. Cambridge University Press, Cambridge, 2002.

Van Waes HJM, Stöckli PW: Farbatlant der Zahnmedizin 17: Kinderzahnmedizin. Thieme, Stuttgart, 2001. pp. 21-22.

Ward SC, Johanson DC, Coppens Y: Subocclusal morphology and alveolar process relationships of hominid gnathic elements from the Hadar formation: 1974-1977 Collections. Am J Phys Anthropol 57: 605-630, 1982.

Weidenreich F: Über die pneumatischen Nebenräume des Kopfes. Ein Beitrag zur Kenntnis des Bauprinzips der Knochen, des Schädels und des Körpers. Z Anat Entwicklungsgesch 72: 55-93, 1924.

Winkler LA, Schwartz JH, Swindler DR: Aspects of dental development in the orangutan prior to eruption of the permanent dentition. Am J Phys Anthropol 86: 255-271, 1991.

Winkler LA, Schwartz JH, Swindler DR: Development of the orangutan permanent dentition: Assessing patterns und variation in tooth development. Am J Phys Anthropol 99: 205-220, 1996.

Zihlman A, Bolter D, Boesch C: Wild chimpanzee dentition and its implications for assessing life history in immature hominin fossils. Proc Natl Acad Sci U S A 101: 10541-10543, 2004.

Zhao L, Lu Q, Zhang W: Age at first molar emergence in *Lufengpithecus lufengensis* and its implications for life-history evolution. J Hum Evol 54: 251-257, 2008.

9. Anhang

Abkürzungsverzeichnis

C	Eckzahn
ca.	circa
CT	Computertomographie
3D	dreidimensional
DVT	Digitale Volumentomographie
I1	mittlerer Schneidezahn
I2	seitlicher Schneidezahn
M1	1. Molar
M2	2. Molar
M3	3. Molar
M4	4. Molar
P1	1. Prämolare
P2	2. Prämolare
s.	siehe
u.a.	unter anderem
vgl.	vergleiche

Tab. I: Messwerte der erhobenen äußeren Schädelmaße von *Pongo*, *Gorilla* und *Pan* (adulte Tiere). Angaben in cm.

Gattung	Katalog-Nr.	Geschlecht	Gesamt- schädel- länge	Gesichts- schädel- länge	Schädel- basislänge	Gaumen- länge	Maxillo- alveolar- länge	Mittel- gesichts- breite	Maxillo- alveolar- breite	Gaumen- breite	Ober- gesichts- höhe	Eckzahn- höhe rechts	Eckzahn- höhe links	Vordere Interorbital- breite
<i>Pongo</i> (adult)	Or m 2	m	22,53	16,29	10,22	8,31	9,21	10,39	7,02	4,02	9,70	-	2,56	1,54
	Or m 4	m	23,12	17,70	10,72	8,99	9,85	12,37	6,64	4,51	10,62	-	-	1,36
	Or m 5	m	22,42	17,20	10,34	9,32	9,35	11,96	7,40	3,84	9,16	2,87	2,76	1,51
	Or m 6	m	-	17,23	11,20	9,06	9,61	13,21	7,32	3,74	10,02	-	-	1,36
	Or 2	m	-	18,25	10,72	8,89	9,29	12,08	7,04	4,17	11,15	3,48	3,06	1,32
	Or 3	m	-	17,79	10,65	8,87	9,71	11,10	6,90	3,80	11,94	2,92	2,26	1,29
	Or se 7	f	21,13	14,44	9,89	7,69	8,12	9,90	6,50	3,74	8,85	1,76	1,78	1,06
	Or se 1	f	20,53	14,95	9,96	8,07	8,51	11,54	6,43	3,32	9,19	2,60	2,34	1,37
	Or fe 3	f	20,45	12,57	9,87	7,99	8,81	10,73	6,64	3,63	9,11	2,26	2,20	1,20
	Or fe 8	f	18,56	13,18	9,24	7,34	7,68	10,46	6,13	3,47	7,48	-	2,12	0,77
<i>Gorilla</i>	Or fe 9	f	19,12	13,96	10,15	7,22	7,55	9,76	6,15	3,87	7,75	-	1,97	1,15
	G1	f	23,58	15,26	11,58	7,74	8,29	10,37	6,25	3,65	9,26	1,90	1,77	2,20
	G2	f	22,09	14,84	10,54	7,83	8,01	10,46	6,40	3,40	9,68	1,54	-	2,12
	G4	m	27,44	19,10	12,92	10,19	10,48	12,27	7,43	4,03	11,03	2,83	2,70	2,98
	G5	m	26,96	-	-	9,09	9,24	11,85	6,78	3,58	9,53	3,23	-	2,47
	G6	m	31,83	21,57	14,56	11,85	11,58	13,49	8,21	4,89	12,62	3,81	3,52	3,27
	G7	m	29,15	20,74	14,45	11,14	11,71	14,39	7,72	4,57	11,87	-	-	3,31
	G8	m	30,50	19,98	14,16	11,71	11,76	13,40	8,68	3,95	11,95	1,96	-	3,68
	G9	m	25,69	19,01	13,85	10,12	10,30	11,49	8,04	4,47	10,23	3,75	-	3,39
<i>Pan</i>	W2	f	18,28	12,92	10,22	6,73	6,92	8,82	5,73	3,48	8,57	1,80	1,80	2,19
	W3	f	16,77	11,39	8,73	5,76	6,02	7,56	4,93	3,29	6,84	1,61	1,46	1,60
	W4	f	17,56	12,56	8,95	6,66	6,73	8,45	5,25	3,22	6,30	1,37	1,43	1,84
	W5	f	19,63	13,29	10,25	7,44	7,55	8,92	5,85	3,71	8,67	1,36	-	1,78
	W6	f	18,82	12,83	10,34	6,77	7,01	8,77	5,73	3,30	8,76	-	-	2,38
	W7	f	17,14	11,92	8,76	6,20	6,67	8,55	5,81	3,48	7,37	1,86	2,04	1,91
	W8	f	19,52	13,55	9,64	7,13	7,56	9,39	6,27	3,76	8,50	2,37	2,67	2,11

Tab. II: Messwerte der erhobenen äußeren Schädelmaße geordnet nach dem Dentitionsstand der juvenilen Tiere der Gattung *Pongo*. Angaben in cm.

Gattung	Katalog-Nr.	Gesamt- schädel- länge	Gesichts- schädel- länge	Schädel- basislänge	Gaumen- länge	Maxillo- alveolar- länge	Mittel- gesichts- breite	Maxillo- alveolar- breite	Gaumen- breite	Ober- gesichts- höhe	Eckzahn- höhe rechts	Eckzahn- höhe links	Vordere Interorbital- breite
<i>Pongo</i> (juvenil)	14.5.7	13,4	7,91	6,63	3,83	4,51	6,6	4,46	2,32	4,35	1,14		0,38
	14.5.9	13,28	8,16	6,64	3,57	4,33	6,63	4,38	2,48	4,82	1,16	1,11	0,44
	14.5.6	13,07	7,09	6,52	4,05	4,74	6,49	4,32	2,42	4,77	1,19	1,14	0,49
	14.4.8	12,89	8,73	7,51	4,06	4,59	6,25	4,24	2,36	4,68	1,05	1,0	0,3
	14.5.4	15,8	9,39	7,6	4,75	5,29	7,47	5,24	2,99	5,82			0,58
	14.4.7	14,82	9,41	7,13	4,34	4,98	7,08	4,98	2,86	5,65	1,17	1,08	0,56
	79 W6	13,9	9,11	6,99	4,66	5,11	6,99	4,95	2,61	5,51	1,16	1,13	0,52
	14.5.3	14,68	9,13	6,91	4,89	5,37	7,3	4,61	2,54	5,22	1,03	1,03	0,5
	14.4.6	16,13	10,52	7,47	5,59	5,74	7,88	5,24	2,55	6,24	1,54	1,16	0,7
	14.4.2	16,1	10,18	8,81	5,2	5,35	6,89	4,6	2,65	6,16	0,91	1,08	1,23
	14.5.1	15,73	10,1	7,47	5,36	5,96	8,01	5,23	2,81	6,01	1,42	1,47	0,68
	14.5.5	15,39	10,09	7,47	4,83	6,0	7,84	5,13	2,83	5,96	0,98		0,56
	14.5.2	16,07	10,79	7,69	5,64	6,19	8,15	5,29	2,98	5,95		1,41	0,87

Tab. III: Volumina der Milchzähne geordnet nach dem Dentitionsstand der juvenilen Tiere der Gattung *Pongo*. Angaben in cm³.

Katalog-Nr.	55	54	53	52	51	61	62	63	64	65
14.5.7	0,923	0,67	0,649	0,374	0,831	0,864	-	-	0,732	0,935
14.5.9	0,603	0,442	0,583	-	0,604	0,571	0,238	0,585	0,459	0,619
14.5.6	0,732	0,556	0,744	0,312	0,764	0,77	0,343	0,708	0,54	0,71
14.4.8	0,616	0,431	0,562	0,228	0,389	0,438	0,281	0,555	0,425	0,657
14.5.4	1,157	0,65	-	-	-	-	-	-	0,62	1,176
14.4.7	0,747	0,506	0,563	0,254	0,674	0,647	0,254	0,656	0,482	0,731
79 W6	0,958	0,556	0,769	0,26	0,531	0,486	0,258	0,717	0,561	0,968
14.5.3	0,543	0,334	0,371	0,132	0,372	0,389	Wurzel: 0,042	0,399	0,356	0,553
14.4.6	0,961	0,637	0,772	0,328	0,622	0,637	-	0,787	0,657	0,897
14.4.2	0,53	0,338	0,399	0,19	0,289	0,308	0,19	0,273	0,292	0,506
14.5.1	0,985	0,706	0,623	0,213	-	0,432	-	0,574	0,705	0,974
14.5.5	0,641	0,979	-	-	-	-	-	-	0,667	0,676
14.5.2	0,708	0,482	-	0,219	0,334	0,405	0,236	0,648	0,456	-

Tab. IV: Volumina der permanenten Zahnkeime geordnet nach dem Dentitionsstand der juvenilen Tiere der Gattung *Pongo*. Angaben in cm³.

Katalog-Nr.	18	17	16	15	14	13	12	11	21	22	23	24	25	26	27	28
14.5.7			0,529		0,009	0,098	0,013	0,286	0,284		0,081	0,018				
14.5.9			0,586	0,039	0,098	0,147	0,056	0,319	0,334	0,046	0,139	0,096	0,08	0,627		
14.5.6			0,694	0,08	0,133	0,148	0,099	0,462	0,475	0,085	0,132	0,132	0,089	0,688		
14.4.8			0,661	0,163	0,204	0,164	0,094	0,391	0,403	0,078	0,163	0,085	0,189	0,703	0,247	
14.5.4			0,964	0,299	0,266	0,128	0,217	0,69	0,663	0,206	0,152	0,302	0,303	0,978		
14.4.7		0,315	1,005	0,276	0,335	0,385	0,213	0,774	0,751	0,191	0,391	0,344	0,325	1,088	0,322	
79 W6		0,534	0,819	0,294	0,254	0,256	0,148	0,631	0,664	0,177	0,269	0,25	0,332	0,843	0,57	
14.5.3		0,341	1,12	0,316	0,232	0,283	0,147	0,584	0,56	0,176	0,266	0,265	0,342	1,435	0,343	
14.4.6		0,758	1,536	0,495	0,531	0,585	0,262	1,298	1,351	0,323	0,714	0,534	0,526	1,579	0,785	
14.4.2		0,52	1,015	0,326	0,299	0,352	0,447	0,934	0,906	0,435	0,372	0,3	0,323	0,973	0,507	
14.5.1	0,176	0,834	1,814	0,689	0,546	0,633	0,358	1,455	1,429	0,363	0,63	0,658	0,671	1,931	0,745	0,211
14.5.5	0,354		1,41	0,729	0,979	0,813		0,64			0,898	0,667	0,702	1,385	0,453	0,346
14.5.2		0,758	1,536	0,495	0,531	0,585	0,262	1,298	1,351	0,323	0,714	0,534	0,526	1,579	0,785	

Tab. V: Messwerte der erhobenen Knochendicke zwischen dem Sinus maxillaris und den Zahnwurzelspitzen, Wurzellänge sowie die in den Sinus hineinragende Wurzellänge der Oberkieferseitenzähne von *Pongo* (adulte Tiere). Angaben in mm.

		Or m 2	Or m 4	Or m 5	Or m 6	Or 2	Or 3	Or se 7	Or se 1	Or fe 3	Or fe 9	Or fe 8
<i>Knochendicke</i>												
1. Quadrant	P2 palatinal					2,9		5,5				
	M1 mesial					1,7		5,0	15,3	7,3		8,8
	M1 distal					3,8		6,7	14,7	7,2	3,4	8,0
	M1 palatinal					1,7	2,9	1,3	2,1	1,7	2,5	2,9
	M2 mesial	4,2	5,9	1,2	2,1	1,3	0,8	2,1	2,5	3,8		3,8
	M2 distal	5,8	10,9	0,9	2,1	2,1	2,1	1,7	5,5	1,7	1,3	3,9
	M2 palatinal	2,1	0,8	0,6	0,4	1,7	0,4	0,4	1,7	1,3	0,4	7,6
	M3 mesial	2,5	3,0	0,9	0,4	1,7	1,7	1,3	3,4	2,7	1,7	2,5
	M3 distal	4,2		3,4	0,8	2,7	2,1	1,7	5,5	0,4	0,9	4,2
	M3 palatinal	2,1	0,8	2,1	0,8	1,7	2,1	0,4	1,7	1,3	0,4	2,5
	P2 palatinal		2,5	18,9				1,7				
2. Quadrant	M1 mesial		12,4	3,6	5,9			3,4	9,7	6,3	1,7	7,1
	M1 distal		8,5	10,1	6,7			3,4	11,3	5,5	7,2	4,6
	M1 palatinal		1,7	8,7	4,6	1,3	1,9	0,4	0,8	4,3	4,2	2,1
	M2 mesial	1,5	2,7	0,9	1,3	1,3	1,7	1,7	5,0	2,9	3,8	6,7
	M2 distal	3,4	4,6	3,0		2,9	4,2	1,7	6,7	0,8	2,5	5,5
	M2 palatinal	2,8	1,3	2,1	0,9	1,3	0,4	0,8	0,4	2,5	2,6	0,4
	M3 mesial	3,4	2,3	1,9	1,7	4,2	3,4	0,8	2,1	2,4	2,5	
	M3 distal	3,4	4,1	3,5	0,4	3,8	2,1	1,3	3,8	1,3	2,5	
	M3 palatinal	2,1	0,8	2,6	1,3	1,7	1,7	0,8	0,8	2,1	1,7	

Fortsetzung der Tabelle V

		Or m 2	Or m 4	Or m 5	Or m 6	Or 2	Or 3	Or se 7	Or se 1	Or fe 3	Or fe 9	Or fe 8
<i>Wurzellänge</i>												
1. Quadrant	P1 mesial	10,8		20,1	19,5	23,8	17,4	15,1	17,3	19,0	13,4	16,7
	P1 distal	10,0		11,7	13,2	17,1	15,5	14,5	8,7	17,5	14,4	12,9
	P1 palatinal	15,2			18,9	22,0	20,3	16,1	16,3	14,8	14,5	14,2
	P2 mesial	12,9	11,8	15,7	16,4	18,7	18,1	16,0	18,8	17,5	15,2	14,3
	P2 distal	11,6	10,9	14,9	17,0	18,6	16,3	16,5	18,4	17,3	15,0	13,3
	P2 palatinal	16,9	12,5		17,3	22,5	19,4	17,2	13,8	16,9	14,7	14,0
	M1 mesial					14,6	17,1	16,1	16,8	14,8	14,1	12,1
	M1 distal					13,4	17,6	16,8	14,1	17,3	14,6	11,8
	M1 palatinal					16,1	17,5	13,6	16,9	16,4	14,2	11,1
	M2 mesial	11,4		15,2	13,0	16,1	17,9	14,1	17,0	17,2	13,0	13,6
	M2 distal	10,0		14,9	15,6	16,5	17,3	14,4	18,0	19,3	13,9	13,7
	M2 palatinal	13,7		16,6	17,6	16,9	15,5	16,5	16,6	14,3	12,7	11,3
	M3 mesial	12,2		13,8	13,4	15,4	16,4	13,1	12,2	14,4	13,4	13,5
	M3 distal	11,8		12,1	14,5	14,5	16,7	13,1	12,6	14,3	12,6	11,2
	M3 palatinal	13,3		15,9	15,5	15,8	13,3	15,9	15,6	12,6	12,4	11,3
	M4 mesial									13,7		
	M4 distal									13,5		
	M4 palatinal									12,6		
2. Quadrant	P1 mesial	13,8		19,0	16,2	18,2	17,8	14,7	15,9	18,6	15,5	14,8
	P1 distal	11,2		17,9	10,8	17,3	15,3	13,8	17,3	16,0	15,2	11,6
	P1 palatinal	14,5		17,2	13,4	14,8	17,5	15,2	16,9	16,5	12,5	13,6
	P2 mesial	12,2	10,1			19,4	18,9	13,6	17,8	15,6	15,3	13,7
	P2 distal	12,9	11,7			18,1	17,4	14,8	21,0	15,8	15,3	13,3
	P2 palatinal	16,9	16,9			15,6	20,5	17,3	12,4	18,8	15,9	16,2
	M1 mesial		13,0		13,6	16,0	15,3	13,1	17,6	18,7	14,0	11,4
	M1 distal		12,4	12,2	12,8	18,3	14,8	14,0	12,6	17,1	13,8	13,4
	M1 palatinal		13,7		14,6	18,4	18,5	11,6	11,0	17,2	13,5	12,5
	M2 mesial	12,4	14,3	14,7	12,4	16,8	18,3	13,6	16,9	16,0	15,2	14,4

Fortsetzung der Tabelle V

		Or m 2	Or m 4	Or m 5	Or m 6	Or 2	Or 3	Or se 7	Or se 1	Or fe 3	Or fe 9	Or fe 8
	M2 distal	12,5	14,9	15,3	15,0	16,3	17,7	12,6	18,1	18,9	15,6	13,1
	M2 palatinal	13,7	17,1	17,3	11,6	17,6	17,5	14,7	15,2	15,5	11,8	11,8
	M3 mesial	12,3	13,3	13,6	13,2	15,1	16,0	14,4	14,3	16,5		13,0
	M3 distal	12,2	12,2	10,5	15,6	15,4	16,3	13,5	14,3	18,1		11,5
	M3 palatinal	13,7	13,4		16,5	18,2	15,0	17,2	13,9	15,6		12,6
<i>Wurzellänge im Sinus</i>												
1. Quadrant	P2 palatinal							4,5				2,1
	M1 palatinal							1,3				
	M2 mesial					2,7						1,7
	M2 distal					4,4						1,3
	M2 palatinal				5,6	3,4		1,3			1,3	2,6
	M3 mesial				2,1	4,7						1,7
	M3 palatinal		3,4		5,6	3,0		1,7				3,4
	P2 palatinal											3,0
2. Quadrant	M2 mesial				3,5							2,9
	M2 distal				6,8							0,8
	M2 palatinal		1,3			0,8		2,1			1,3	3,0
	M3 mesial				5,5							2,1
	M3 distal									1,7		
	M3 palatinal		1,3					1,7				4,2

P1: erster Prämolare; P2: zweiter Prämolare; M1: erster Molar; M2: zweiter Molar; M3: dritter Molar; M4: vierter Molar.

Tab. VI: Messwerte der erhobenen Knochendicke zwischen dem Sinus maxillaris und den Zahnwurzelspitzen, Wurzellänge sowie die in den Sinus hineinragende Wurzellänge der Oberkieferseitenzähne von *Gorilla*. Angaben in mm.

		G1	G2	G4	G5	G6	G7	G8	G9
<i>Knochendicke</i>									
1. Quadrant	P1 palatinal	1,4	1,4	3,4		3,2			
	P2 palatinal	4,0	1,4	1,4		3,9	12,3	6,5	5,0
	M1 mesial	1,8	1,8	6,8			22,7	4,3	11,9
	M1 distal	1,8	1,4	4,0			18,7	11,5	1,1
	M1 palatinal	1,4	1,1	0,7		2,5	2,2	6,5	0,4
	M2 mesial	2,2	1,4	1,4	2,9	3,2	7,6	3,2	3,6
	M2 distal	1,1	1,4	2,5	2,5	1,1	8,3	2,9	2,2
	M2 palatinal	1,4	1,1	1,8	2,9	2,6	2,2	7,9	1,4
	M3 mesial	1,8	3,6	4,0		5,8	1,1	2,9	5,8
	M3 distal	0,8	3,2	2,2		2,2	0,7	10,8	
	M3 palatinal	2,2	1,4	1,8		2,3	1,8	2,9	2,9
	P1 palatinal	1,4	5,8	2,2					5,0
	P2 palatinal	1,4	1,8	1,4			2,5	11,5	1,8
2. Quadrant	M1 mesial	1,4	1,8	5,8				2,2	10,8
	M1 distal	2,2	1,8	1,4			15,1	1,8	12,7
	M1 palatinal	1,8	1,8	2,2		3,4	1,1	2,5	1,3
	M2 mesial	1,1	1,4		2,2	5,9	6,1	15,5	13,9
	M2 distal	1,4	1,4	1,8	2,9	2,9	4,0	11,2	11,2
	M2 palatinal	1,8	1,1	2,9	3,6	2,2	2,2	2,9	1,1
	M3 mesial	0,8	2,9		0,7	1,1	3,6	1,4	
	M3 distal	1,1	1,1		1,4	5,8	2,5	3,2	
	M3 palatinal	1,4	2,2	4,3	0,8	2,3	2,5	1,1	
<i>Wurzellänge</i>									
1. Quadrant	P1 mesial	15,0	17,2					21,7	
	P1 distal	14,1	12,8					15,6	
	P1 palatinal	17,8	17,2	16,4		16,4		19,6	
	P2 mesial	16,8	15,2			14,0	15,9	18,5	
	P2 distal	16,2	15,9			14,8	13,4	17,3	
	P2 palatinal	18,5	18,2	17,6		17,9	16,0	18,6	14,7
	M1 mesial	15,5	15,3	13,1		13,5	13,2	16,7	13,3
	M1 distal	16,3	16,1	12,3		16,3	14,2	15,3	14,3
	M1 palatinal	15,7	15,9	13,3		14,7	15,3	18,2	12,1
	M2 mesial	15,1	14,6	14,4		14,2	13,8	17,2	15,6
	M2 distal	14,4	14,7	14,8		15,2	14,1	18,9	16,1
	M2 palatinal	15,9	16,1	12,2		15,8	14,4	20,0	12,4
	M3 mesial	15,1	13,1	15,5		17,3	13,8	19,8	16,1
	M3 distal	13,0	9,0	12,2		14,8	10,7	13,8	
	M3 palatinal	14,4	14,0	14,4		17,6	16,3	18,2	16,1
	M4 mesial			16,3					
	M4 distal			14,3					
	M4 palatinal			13,7					

Fortsetzung der Tabelle VI

		G1	G2	G4	G5	G6	G7	G8	G9
2. Quadrant	P1 mesial	16,1	18,8			13,5	17,4	20,9	
	P1 distal	14,9	18,9			13,0	13,2	15,0	
	P1 palatinal	18,9	17,4			16,7	15,5	19,6	
	P2 mesial	15,9	13,1	15,2		14,5		19,1	15,4
	P2 distal	15,5	15,5	15,2		14,4		17,5	13,1
	P2 palatinal	18,2	17,5	17,0		19,3	15,5	20,8	14,5
	M1 mesial	14,6	15,9			16,3	13,0	15,6	14,1
	M1 distal	15,6	17,7	14,3		12,3	15,4	17,3	14,1
	M1 palatinal	13,1	17,7	14,9		17,6	15,8	17,7	13,9
	M2 mesial	16,6	14,0	14,7		16,6	13,8	19,8	16,3
	M2 distal	15,6	15,3	15,5		18,6	13,2	18,7	16,0
	M2 palatinal	14,4	18,1	16,6	14,4	18,8	14,2	19,2	12,6
	M3 mesial	15,7	12,6	15,5	14,4	16,6	12,6	18,2	
	M3 distal	14,4	9,9	11,9	13,8	16,6	10,1	14,5	
	M3 palatinal	17,5	12,4	16,6	14,4	17,6	14,1	17,5	
<i>Wurzellänge im Sinus</i>									
1. Quadrant	P2 mesial			1,8					
	P2 distal			1,4					
	P2 palatinal	5,1		5,1					
	M1 mesial		2,2						
	M1 palatinal	4,7	8	5,8					
	M2 mesial	2,2							
	M2 distal			6,5					
	M2 palatinal	5	2,2	5					
	M3 mesial			7,6					
	M3 palatinal	1,8							
2. Quadrant	P1 palatinal	1,1							
	P2 palatinal	2,3	4,8						
	M1 mesial	3,2	0,8						
	M1 distal	1,4	1,1						
	M1 palatinal	4,0	7,4				1,5		3,1
	M2 mesial	3,3		3,6					
	M2 distal	1,5		2,5					
	M2 palatinal	2,9	2,9						7,2
	M3 mesial	0,7		6,1					
	M3 distal	1,1							
	M3 palatinal	4,7							
	M4 mesial			3,3					
	M4 distal			5,7					

P1: erster Prämolare; P2: zweiter Prämolare; M1: erster Molar; M2: zweiter Molar;
M3: dritter Molar; M4: vierter Molar.

Tab. VII: Messwerte der erhobenen Knochendicke zwischen dem Sinus maxillaris und den Zahnwurzelspitzen, Wurzellänge sowie die in den Sinus hineinragende Wurzellänge der Oberkieferseitenzähne von *Pan.* Angaben in mm.

		W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8
<i>Knochendicke</i>								
1. Quadrant	P1 palatinal	2,9	1,4	1,8	2,9	1,8	2,2	
	P2 vestibulär			1,8				
	P2 palatinal	1,8	0,7	1,1	1,8	1,8	1,8	0,7
	P2 vestibulär			2,9	2,5		1,8	3,2
	M1 mesial	5	2,2	1,8	8,6	5,8	1,1	
	M1 distal	6,5	1,8	4,0	6,1	2,2	1,8	1,4
	M1 palatinal		2,5	2,2	2,9			1,1
	M2 mesial	2,2	2,5	1,8	2,5	1,1	2,2	1,8
	M2 distal		2,5	0,7	6,5	1,4	1,8	0,4
	M2 palatinal		1,1	1,8	2,2	1,4		1,1
	M3 mesial	0,4	1,8	0,7	1,4	1,4	1,4	
	M3 distal	1,1	1,8	0,7	4,0	0,4	0,4	1,4
	M3 palatinal	1,4	2,5	1,4	0,7	0,7	1,1	1,1
	P1 palatinal	0,7	1,5	1,8	0,7	1,8	1,8	2,5
	P1 vestibulär			2,2				
2. Quadrant	P2 palatinal	0,7	1,4	1,8	4,7			2,9
	P2 vestibulär			1,4				2,5
	M1 mesial	4,3	2,5	2,5	8,6	4,3	1,1	2,2
	M1 distal	4,0	1,8	0,7	5,4	5,4	0,4	0,4
	M1 palatinal		1,1	1,4	2,5	0,7	1,3	2,5
	M2 mesial	1,4	1,8	1,8	4,0	1,1		3,6
	M2 distal	1,8	0,4	1,1	1,8	1,8	0,7	1,1
	M2 palatinal		1,1	1,8	1,5	1,4		1,1
	M3 mesial	1,1	1,8	1,1	2,9	1,4		1,1
	M3 distal	1,4	1,1	2,2	6,8	1,1		0,7
	M3 palatinal	1,8	0,7	1,4	1,4	0,7		
<i>Wurzellänge</i>								
1. Quadrant	P1 mesial	12,5			14,6		14,9	14,2
	P1 distal	10,8			14,1		12,6	14,4
	P1 palatinal	10,8	11,1	13,9	12,5	12,3	14,8	13,4
	P1 vestibulär			12,0		13,7		
	P2 mesial	13,0						
	P2 distal							
	P2 palatinal	12,7	9,9	13,1	13,4	14,6	11,2	14,8
	P2 vestibulär			12,4	11,7	14,1	15,2	16,1
	M1 mesial	9,3	9,0	9,8		10,1	11,9	13,9
	M1 distal	10,3	9,9	12,1		10,9	14,2	16,2
	M1 palatinal	9,4	9,0	10,8		9,4	13	15,7
	M2 mesial	10,4	8,3	10,5	10,4	10,5	11,9	13,7
	M2 distal	9,7	8,1	10,6	9,9	9,4	10,8	13,4
	M2 palatinal	10,0	8,9	11,5	11,7	10,9	12,1	14,8
	M3 mesial	5,1	9,0	9,8	9,7	9,4	9,7	12,7

Fortsetzung der Tabelle VII

		W2	W3	W4	W5	W6	W7	W8
2. Quadrant	M3 distal	6,1	7,2	8,0	6,8	9,7	9,8	12,6
	M3 palatinal	5	8,7	11,1	11,3	10,5	8,0	13,3
	P1 mesial	12,0			14,5		15,5	
	P1 distal	10,2			13,4		12,9	
	P1 palatinal	10,0	10,0	14,0	12,1	13,6	13,9	12,2
	P1 vestibulär			12,2		14,6		15,7
	P2 mesial	12,5						
	P2 distal							
	P2 palatinal	12,4	10,1	13,0	12,5			13,9
	P2 vestibulär			11,4	13,6			15,6
	M1 mesial	8,7	7,6	9,5		9,4	12,2	11,4
	M1 distal	9,7	9,4	11,5		10,8	12,6	16,3
	M1 palatinal	10,8	8,2	12,7		9,8	10,6	16,9
	M2 mesial	10,1	9,0	11,2	10,2	10,5	11,5	13,4
	M2 distal	9,5	8,0	10,6	10,0	9,7	11,0	14,5
	M2 palatinal	13,3	7,3	11,5	12,1	10,1	10,7	13,7
	M3 mesial	5,4	8,6	9,7	9,8	10,2	10,9	12,3
	M3 distal	5,5	5,4	8,0	9,1	9,8	9,0	11,5
	M3 palatinal	5,8	9,2	8,5	7,6	6,1	12,6	11,9
<i>Wurzellänge im Sinus</i>								
1. Quadrant	P1 palatinal			4,7				
	P2 palatinal	4,7		5,5		4		
	P2 vestibulär						2,7	
	M1 mesial	3,2						4,6
	M1 distal	1,8					3,5	
	M1 palatinal	2,9		4,7		2,2	6,4	
	M2 mesial	6,5	2,9				5,4	4
	M2 distal	3,6						
	M2 palatinal	6,5		4,3		2,5	4,1	5,8
	M3 mesial		2,9				4,3	2,9
2. Quadrant	M3 distal		2,2					
	M3 palatinal			0,7				5
	P2 palatinal			5	5,5			
	P2 vestibulär			3,1				
	M1 mesial	4,5		2,6			2,9	
	M1 distal	2,6		1,8			5	
	M1 palatinal	8,3		4,7	3,3		5,5	6,8
	M2 mesial	6,8		3,2			6,5	6,5
	M2 distal	4,3					3,8	
	M2 palatinal	9,7		3,6			3,7	5,8
	M3 mesial	1,5			2,2		5,8	4,8
	M3 distal						1,8	
	M3 palatinal							3,6

P1: erster Prämolare; P2: zweiter Prämolare; M1: erster Molar; M2: zweiter Molar;
M3: dritter Molar; M4: vierter Molar.

Knochendicken über den Oberkiefermolaren

Tab. VIII: Rechts-Links-Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichungen der Dicke des Bodens des Sinus maxillaris über den Molarenwurzeln von *Pongo pygmaeus*, *Gorilla gorilla* und *Pan troglodytes*. Angaben in mm.

Gattung	Zahn	Wurzel	rechts			links		
			n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD
<i>Pongo</i>	M1	mesial	5	7,62	5,06	8	6,26	3,51
		distal	6	7,3	4,08	8	7,16	2,71
		palatinal	7	2,16	0,63	10	3,00	2,50
	M2	mesial	10	2,77	1,61	11	2,68	1,82
		distal	11	3,46	2,97	10	3,53	1,77
		palatinal	11	1,58	2,09	11	1,41	0,93
	M3	mesial	11	1,98	0,92	10	2,47	0,98
		distal	10	2,59	1,71	10	2,62	1,29
		palatinal	11	1,45	0,75	10	1,56	0,63
<i>Gorilla</i>	M1	mesial	6	8,22	8,04	5	4,40	3,99
		distal	6	6,42	7,17	6	5,83	6,30
		palatinal	7	2,11	2,08	7	2,01	0,78
	M2	mesial	8	3,19	1,97	7	6,59	5,91
		distal	8	2,75	2,35	8	4,60	4,17
		palatinal	8	2,66	2,21	8	2,23	0,89
	M3	mesial	7	3,57	1,82	6	1,75	1,21
		distal	6	3,32	3,79	6	2,52	1,82
		palatinal	7	2,19	0,57	7	2,09	1,17
<i>Pan</i>	M1	mesial	6	4,08	2,89	7	3,64	2,47
		distal	7	3,40	2,15	7	2,59	2,29
		palatinal	4	2,18	0,77	6	1,58	0,75
	M2	mesial	7	2,01	0,49	6	2,28	1,21
		distal	6	2,22	2,23	7	1,24	0,57
		palatinal	5	1,52	0,48	5	1,38	0,30
	M3	mesial	6	1,18	0,52	6	1,57	0,71
		distal	7	1,40	1,26	6	2,22	2,30
		palatinal	7	1,27	0,61	5	1,20	0,48

n: Anzahl; \bar{x} : Mittelwert; SD: Standardabweichung

Tab. IX: Ergebnisse des Rechts-Links-Vergleichs der Dicke des Kieferhöhlenbodens anhand des Wilcoxon Tests beim Orang-Utan, Gorilla und Schimpansen.

Signifikanz bei der Gattung	M1 mesial	M1 distal	M1 pal	M2 mesial	M2 distal	M2 pal	M3 mesial	M3 distal	M3 pal
<i>Pongo</i>	0,068	0,138	0,799	0,293	0,953	0,553	0,236	0,400	1,000
<i>Gorilla</i>	0,068	0,752	0,753	0,345	0,310	0,833	0,345	0,893	0,786
<i>Pan</i>	0,581	0,249	0,581	0,465	0,344	0,317	0,109	0,340	1,000

Beachte, im Rechts-Links-Vergleich ergaben sich keine signifikanten Unterschiede.

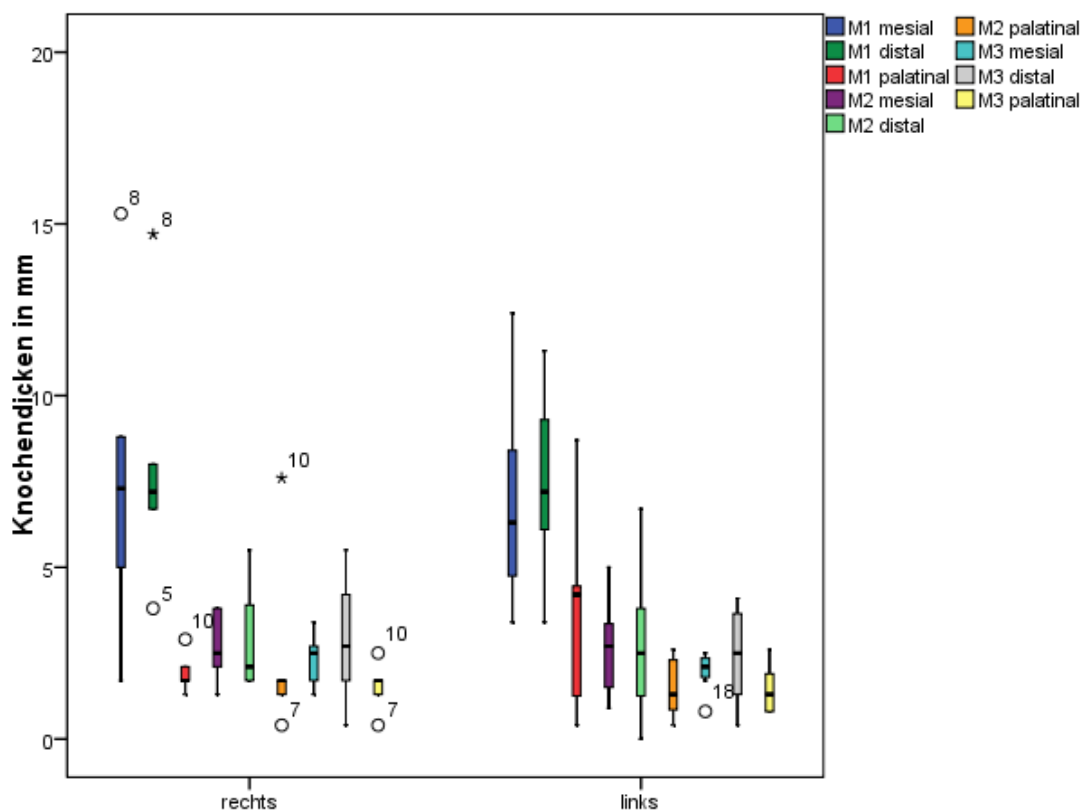


Abb. I: Boxplots des Rechts-Links-Vergleichs der Knochendicke zwischen dem Sinus maxillaris und den Zahnwurzelspitzen der Molaren bei der Gattung *Pongo*.

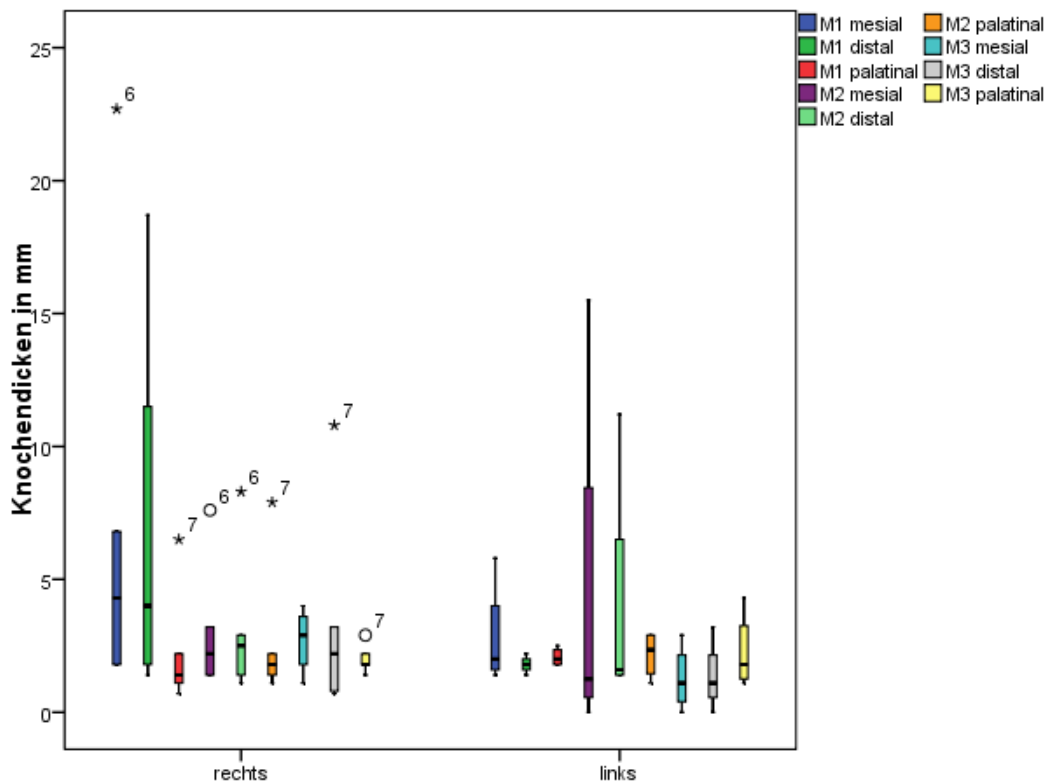


Abb. II: Boxplots des Rechts-Links-Vergleichs der Knochendicke zwischen dem Sinus maxillaris und den Zahnwurzelspitzen der Molaren bei der Gattung *Gorilla*.

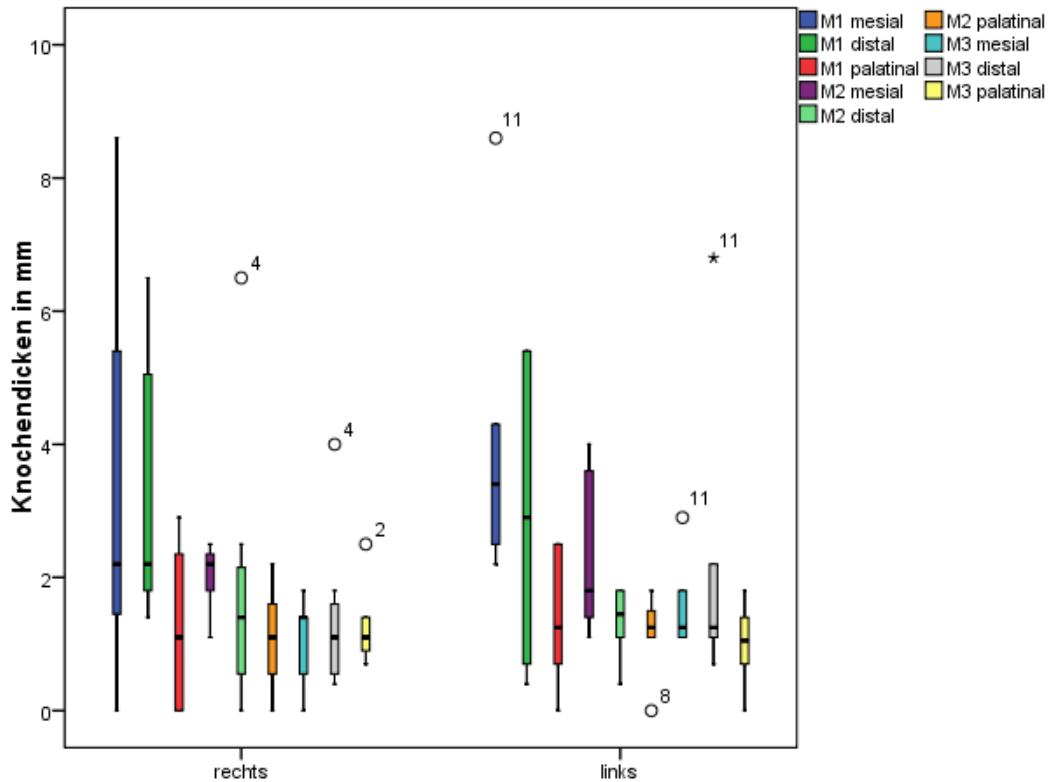


Abb. III: Boxplots des Rechts-Links-Vergleichs der Knochendicke zwischen dem Sinus maxillaris und den Zahnwurzelspitzen der Molaren bei der Gattung *Pan*.

Wurzellängen der Oberkiefermolaren

Tab. X: Rechts-Links-Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichungen der Wurzellängen von *Pongo pygmaeus*, *Gorilla gorilla* und *Pan troglodytes*. Angaben in mm.

Gattung	Zahn	Wurzel	rechts			links		
			n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD
<i>Pongo</i>	M1	mesial	7	15,09	1,74	9	14,74	2,36
		distal	7	15,09	2,20	10	14,14	2,06
		palatinal	7	15,11	2,26	9	14,56	2,85
	M2	mesial	10	14,85	2,16	11	15,00	1,88
		distal	10	15,36	2,63	11	15,45	2,18
		palatinal	10	15,17	2,08	11	14,89	2,38
	M3	mesial	10	13,78	1,32	10	14,17	1,36
		distal	10	13,34	1,65	10	13,96	2,40
		palatinal	10	14,16	1,76	9	15,12	1,90
<i>Gorilla</i>	M1	mesial	7	14,37	1,44	6	14,92	1,25
		distal	7	14,97	1,48	7	15,24	1,88
		palatinal	7	15,03	1,96	7	15,81	1,92
	M2	mesial	7	14,99	1,14	7	15,97	2,07
		distal	7	15,46	1,65	7	16,13	1,94
		palatinal	7	15,26	2,65	8	16,04	2,47
	M3	mesial	7	15,81	2,24	7	15,09	2,06
		distal	6	12,25	2,12	7	13,03	2,48
		palatinal	7	15,86	1,66	7	15,73	2,08
<i>Pan</i>	M1	mesial	6	10,67	1,88	6	9,80	1,71
		distal	6	12,27	2,47	6	11,72	2,53
		palatinal	6	11,22	2,64	6	11,50	3,02
	M2	mesial	7	10,81	1,65	7	10,84	1,39
		distal	7	10,27	1,64	7	10,47	2,02
		palatinal	7	11,41	1,85	7	11,24	2,17
	M3	mesial	7	9,34	2,23	7	9,56	2,16
		distal	7	8,60	2,25	7	8,33	2,23
		palatinal	7	9,70	2,71	7	8,91	2,65

n: Anzahl; \bar{x} : Mittelwert; SD: Standardabweichung

Tab. XI: Ergebnisse des Rechts-Links-Vergleichs der Wurzellängen der Molaren anhand des Wilcoxon Tests beim Orang-Utan, Gorilla und Schimpansen.

Signifikanz bei der Gattung	M1 mesial	M1 distal	M1 pal	M2 mesial	M2 distal	M2 pal	M3 mesial	M3 distal	M3 pal
<i>Pongo</i>	1,000	0,611	0,866	0,575	0,959	0,678	0,767	0,137	0,079
<i>Gorilla</i>	0,917	0,498	0,270	0,075	0,310	0,352	0,138	0,116	0,786
<i>Pan</i>	0,058	0,058	0,600	0,916	0,246	0,463	0,553	0,463	0,499

Beachte, im Rechts-Links-Vergleich ergaben sich keine signifikanten Unterschiede.

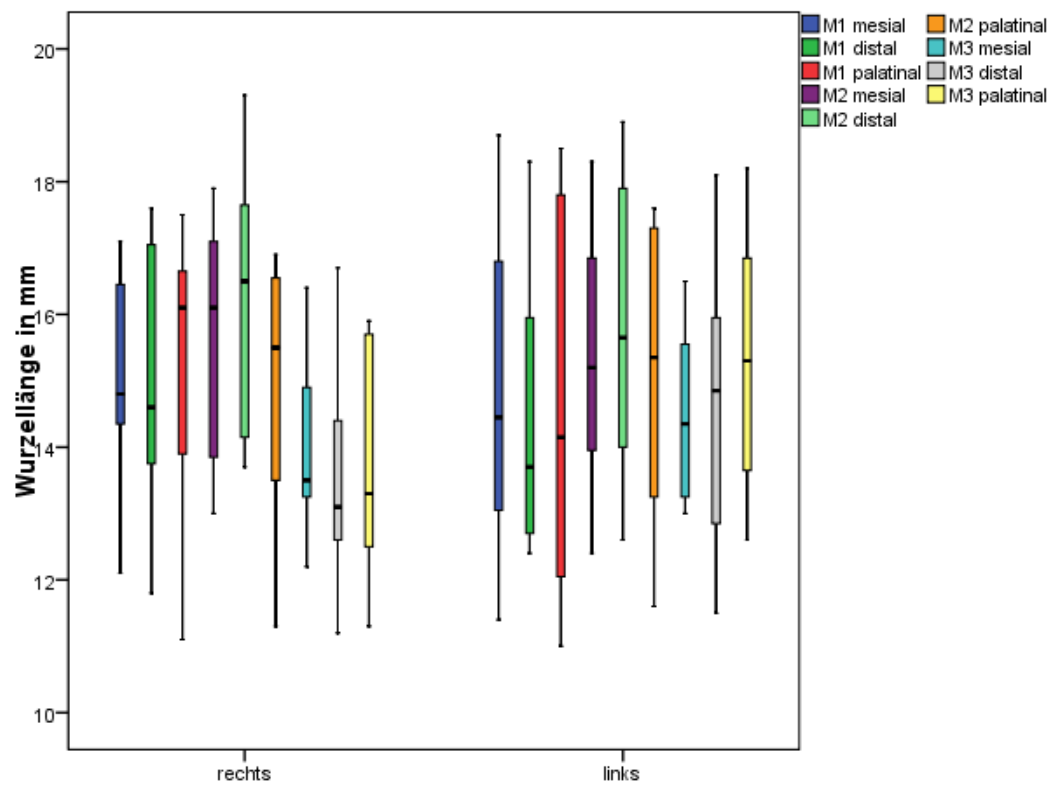


Abb. IV: Boxplots des Rechts-Links-Vergleichs der Wurzellänge der Molaren bei der Gattung *Pongo*.

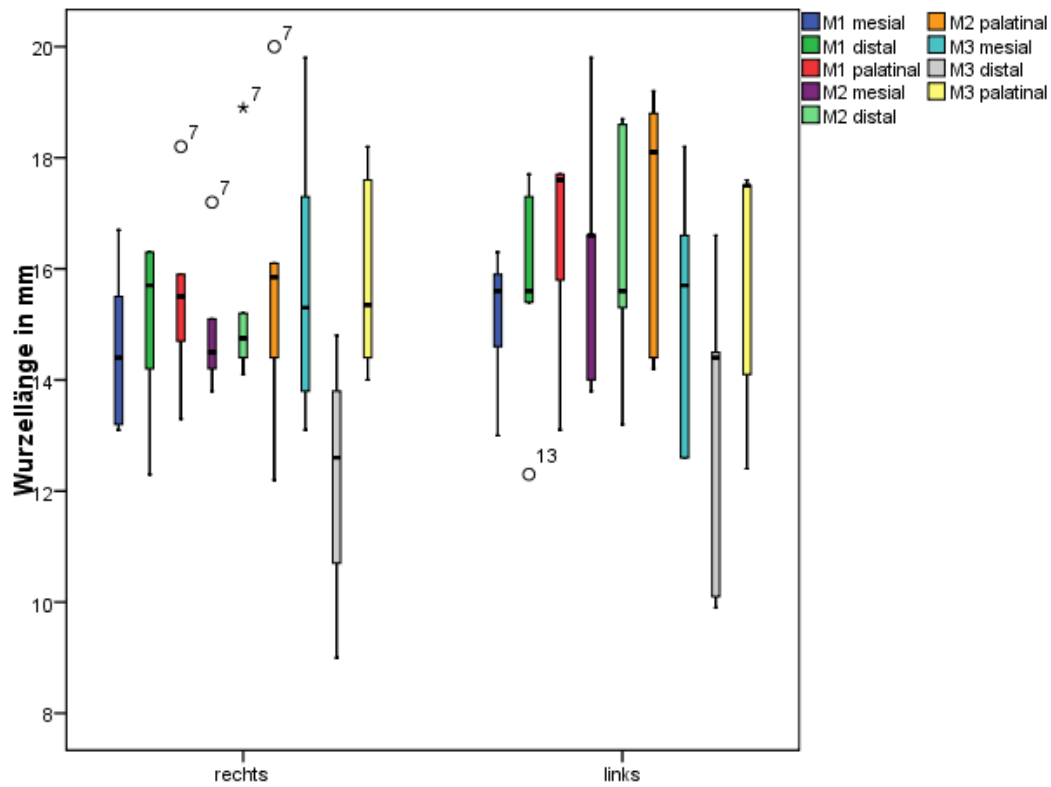


Abb. V: Boxplots des Rechts-Links-Vergleichs der Wurzellänge der Molaren bei der Gattung *Gorilla*.

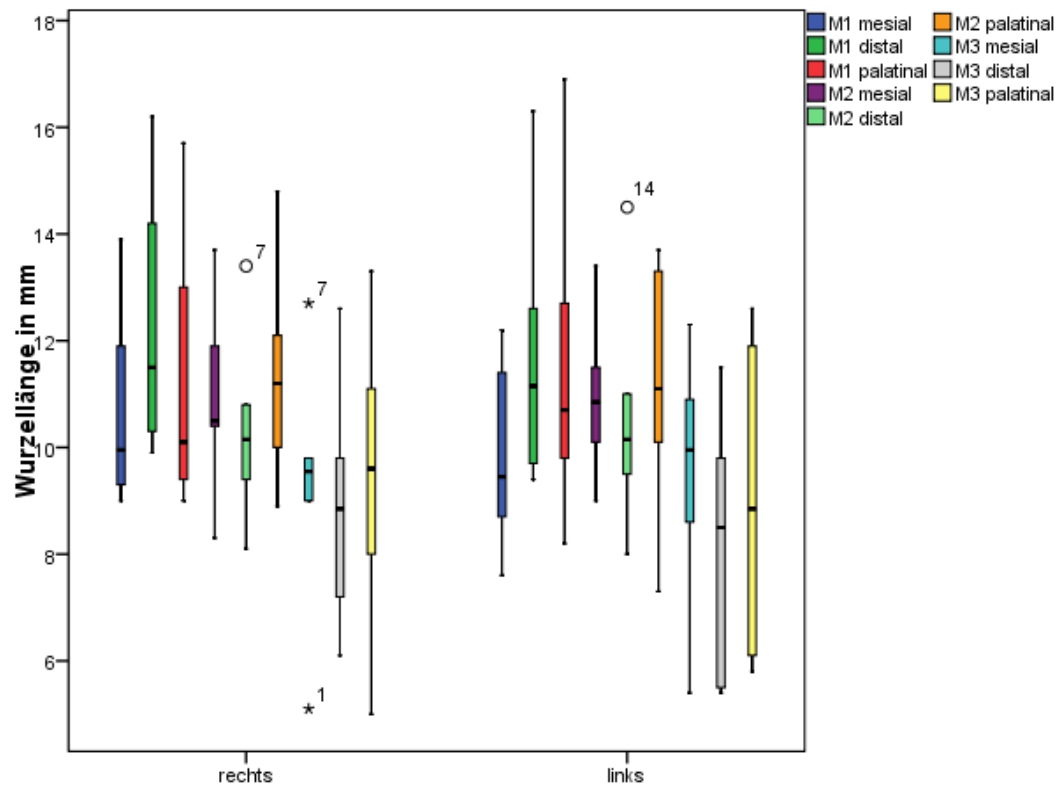


Abb. VI: Boxplots des Rechts-Links-Vergleichs der Wurzellänge der Molaren bei der Gattung *Pan*.

Tab. XII: Ergebnisse des Vergleichs der Zahnwurzellängen zwischen den Gattungen *Pongo*, *Gorilla* und *Pan* anhand des H-Tests nach Kruskal und Wallis.

Zahn	Wurzel	rechts	links	zusammen
M1	mesiobukkal	0,007	0,003	0,0004
	distobukkal	0,076	0,030	0,003
	palatinal	0,025	0,025	0,001
M2	mesiobukkal	0,002	0,001	0,0004
	distobukkal	0,002	0,001	0,0004
	palatinal	0,007	0,004	0,0004
M3	mesiobukkal	0,0004	0,001	0,0004
	distobukkal	0,006	0,002	0,0004
	palatinal	0,001	0,001	0,0004

$p > 0,05$ (nicht signifikant)

Projektion von Wurzelspitzen in den Sinus maxillaris

Tab. XIII: Rechts-Links-Vergleich der Mittelwerte und Standardabweichungen der in den Sinus maxillaris hineinragenden Wurzelspitzen von *Pongo pygmaeus*, *Gorilla gorilla* und *Pan troglodytes*. Angaben in mm.

Gattung	Zahn	Wurzel	rechts			links		
			n	\bar{x}	SD	n	\bar{x}	SD
<i>Pongo</i>	M1	mesial						
		distal						
		palatinal	1	1,3				
	M2	mesial	2	2,20	0,71	2	3,20	0,42
		distal	2	2,85	2,19	2	3,80	4,24
		palatinal	5	2,84	1,78	5	1,70	0,86
	M3	mesial	3	2,83	1,63	2	3,80	2,40
		distal				1	1,70	
		palatinal	5	3,42	1,40	3	2,40	1,57
<i>Gorilla</i>	M1	mesial	1	2,2		2	2,00	1,68
		distal				2	1,25	0,21
		palatinal	3	6,17	1,68	4	4,00	2,49
	M2	mesial	1	2,20		2	3,45	0,21
		distal	1	6,6		2	2,00	0,71
		palatinal	3	4,07	1,62	3	4,33	2,48
	M3	mesial	1	7,6		2	3,4	3,82
		distal				1	1,10	
		palatinal	1	1,8		1	4,70	
<i>Pan</i>	M1	mesial	2	3,90	0,99	3	3,33	1,02
		distal	2	2,65	1,20	3	3,13	1,67
		palatinal	4	4,05	1,89	5	5,72	1,92
	M2	mesial	4	4,70	1,58	4	5,75	1,71
		distal	1	3,60		2	4,05	0,35
		palatinal	5	4,64	1,56	4	5,70	2,85
	M3	mesial	3	3,37	0,81	4	3,58	2,05
		distal	1	2,20		1	1,80	
		palatinal	2	2,85	3,04	1	3,60	

n: Anzahl; \bar{x} : Mittelwert; SD: Standardabweichung

Tab. XIV: Ergebnisse des Rechts-Links-Vergleichs der in den Sinus maxillaris hineinragenden Wurzelspitzen anhand des Wilcoxon Tests beim Orang-Utan, Gorilla und Schimpansen.

Signifikanz bei der Gattung	M1 mesial	M1 distal	M1 pal	M2 mesial	M2 distal	M2 pal	M3 mesial	M3 distal	M3 pal
<i>Pongo</i>						1,000	0,180		0,655
<i>Gorilla</i>			0,180			0,655			
<i>Pan</i>		0,180	0,655	0,109		1,000	0,180		

Beachte, im Rechts-Links-Vergleich ergaben sich keine signifikanten Unterschiede.